



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
DEL DISEÑO

MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS SÍNCRONOS.

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Titulación: Máster Universitario en Ingeniería del
Mantenimiento.

Autor: Juan Carlos Mollisaca Centellas.

Tutor: José Alfonso Antonino Daviu.

Valencia, Septiembre 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitir darme la oportunidad de vivir esta experiencia en España y poder obtener nuevos conocimientos.

Agradezco a mi familia en Perú que en todo momento me apoyo con las decisiones que tome y alentó a seguir adelante con mis estudios y a seguir superándome.

Agradezco a los profesores del Master que dieron su mejor esfuerzo para poder brindarme todos sus conocimientos y que siempre estuvieron atentos a nuestras dudas y compartir su experiencia.

Agradezco a mi tutor el cual me apoyo y asesoro en todo momento en mi trabajo fin de máster.

Agradezco a la UPV y a la escuela de Ingeniera de Diseño por aceptarme y permitirme estudiar el Master así como la disposición de las excelentes instalaciones del campus para poder realizar mis estudios.

Agradezco a mis amigos, compañeros de clase por el apoyo brindado y la experiencia durante mis estudios.

INDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCION	1
1.1	MOTIVACION	1
1.2	OBJETIVOS	1
2.	ANTECEDENTES	2
3.	MOTOR SÍNCRONO	3
3.1	FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR SÍNCRONO.....	3
3.2	TIPOS DE MOTORES SÍNCRONOS	5
3.2.1	Motor síncrono de imanes permanentes (PMSM motors).-.....	5
3.2.2	Motor síncrono de imán permanente sin escobilla o brushless (BLDC motors).-.	5
3.2.3	Motor de reluctancia variable (VR motors).-	6
3.2.4	Motor paso a paso (Steppers motors).-	6
3.3	METODOS DE ARRANQUE DEL MOTOR SÍNCRONO.....	6
3.3.1	Arranque por reducción de frecuencia eléctrica.....	6
3.3.2	Arranque mediante un variador de frecuencias.	7
3.3.3	Arranque con motor externo.	7
3.3.4	Arranque con devanados de amortiguamiento.	8
3.4	APLICACIONES EN LA INDUSTRIAL DEL MOTOR SÍNCRONO.	9
4.	CONSTITUCION DEL MOTOR ELÉCTRICO SÍNCRONO.	10
4.1	CARCASA.....	10
4.2	ESTATOR.	11
4.3	ROTOR.	12
4.3.1	ROTOR DE POLOS LISOS.	12
4.3.2	ROTOR DE POLOS SALIENTES.	13
4.4	ANILLOS ROZANTES.....	15
4.5	ESCOBILLAS.....	15
4.6	RODAMIENTOS, COJINETES DESLIZANTES (CHUMACERAS)	16
5.	EVALUACION Y MANTENIMIENTO DE MOTOR SÍNCRONO.....	18
5.1	UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES DEL TALLER DE MANTENIMIENTO Y REPARACION DE MOTORES.....	18
5.2	DESMONTAJE, EVALUACION MECANICA DE MOTOR Y RECOMENDACIONES PARA SU MANTENIMIENTO.	22
5.2.1	MOTOR EN GENERAL.....	29

5.2.2	ESTATOR	29
5.2.3	ROTOR	35
5.2.4	EJE (ASIENTO DE CHUMACERA LADO ACOPLE Y LADO LIBRE)	36
5.2.5	ANILLOS ROZANTES.....	38
5.2.6	SISTEMA PORTA-ESCOBILLAS	40
5.2.7	CAJAS DE GRASAS (CHUMACERAS)	42
5.2.8	SISTEMA DE VENTILACIÓN AIRE - AIRE (DUCTOS DE VENTILACIÓN, MOTORES VENTILADOR).....	45
5.3	EVALUACION ELECTRICA DE MOTOR, RECOMENDACIONES PARA MANTENIMIENTO TECNICAS PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PREDICTIVO.....	47
5.3.1	PRUEBA DE RESISTENCIA ÓHMICA A ESTATOR Y ROTOR.....	47
5.3.2	PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) DE ESTATOR Y ROTOR.	49
5.3.3	PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACIÓN (IP) DE ESTATOR Y ROTOR.	54
5.3.4	PRUEBA DE INDICE DE ABSORCIÓN (IA) DE ESTATOR Y ROTOR.....	55
5.3.5	PRUEBA DE IMPEDANCIA Z DE ESTATOR Y ROTOR.	56
5.3.6	PRUEBA DE RESISTENCIA ÓHMICA A SENSORES DE TEMPERATURA PT-100 Y RESISTENCIAS DE CALEFACCION.	57
5.3.7	PRUEBA DE NUCLEO MAGNETICO.	61
5.4	MANTENIMIENTO, MONTAJE Y PRUEBAS ELÉCTRICAS FINALES.....	63
5.4.1	MONTAJE DE MOTOR.....	63
5.4.2	PRUEBAS ELÉCTRICAS ESTÁTICAS FINALES.....	68
5.4.3	PRUEBAS ELÉCTRICAS DINAMICAS FINALES EN VACIO.	74
5.5	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MOTORES SÍNCRONOS.....	78
5.6	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MOTORES SÍNCRONOS.....	78
5.7	ANÁLISIS ECONÓMICO.	79
5.7.1	COSTES DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	79
5.7.2	COSTES DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	81
6.	CONCLUSIONES	82
7.	BIBLIOGRAFIA.....	83

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motor Síncrono ABB (ABB, 2018)	2
Figura 2. Diagrama motor síncrono de 2 polos. (Mogollón & Vargas, 2013).....	3
Figura 3. Circuito equivalente de motor síncrono. (Armengol Blanco, 2018).....	4
Figura 4. Alimentación de un motor Síncrono (Fondo Formación, 2001).....	4
Figura 5. Variadores de Frecuencia. (ABB, n.d.)	7
Figura 6. Condensador Síncrono y motor Pony ABB (Minera Antapaccay - Perú)	8
Figura 7. Placas de Motor Pony y Condensador Síncrono.	8
Figura 8. GMD para molino SAG en Minera Cerro Verde (Perú) accionado por motor síncrono. (ABB, 2012).....	9
Figura 9. Motor síncrono Helmke Cementos Yura (Perú).	10
Figura 10. Carcasa de motor Síncrono. (WEG, 2015)	11
Figura 11. Estator de Motor Síncrono Teco Westinghouse 8000 KW	11
Figura 12. Rotor de Motor Teco Westinghouse de polos lisos.	13
Figura 13. Rotor de polos salientes de 4 polos. (ABB, 2018)	13
Figura 14. Disposición del rotor de motor Síncrono. (Fondo Formación, 2001).....	14
Figura 15. Vista interior de Motor Síncrono WEG (WEG, n.d.)	14
Figura 16. Anillos Rozantes motor Helmke 3350 KW	15
Figura 17. Escobillas para motor eléctrico. (Industrial, n.d.)	16
Figura 18. Rodamientos de bolas y rodillos. (SKF, 2018)	16
Figura 19. Diagrama de explosión de cojinete deslizante. (Technology, n.d.).....	17
Figura 20. Componentes de cojinetes deslizantes. (RENK, n.d.).....	17
Figura 21. Ubicación Taller de Mantenimiento de Motores.	18
Figura 22. Vista exterior de la empresa.	19
Figura 23. Vista exterior de la nave del taller de Reparación de Motores.....	19
Figura 24. Oficina y Área de pruebas	20
Figura 25. Área de montaje pintura y horno.....	20
Figura 26. Área de Bobinados	20
Figura 27. Distribución de material aislante	21
Figura 28. Distribución de alambre de cobre clase H pletina de cobre y cables para conexiones.	21
Figura 29. Distribución y codificado de sensores de temperatura de estator	21
Figura 30. Recepción de motor Teco Westinghouse 8000 kW.	23
Figura 31. Recepción de motor vista lado acople.	23
Figura 32. Recepción de motor vista lado libre.....	23
Figura 33. Recepción sistema de ventilación de motor.	23
Figura 34. Extractor hidráulico Posi Lock 100 Tn. (ENERPAC, 2016)	24
Figura 35. Vista de tapa lado acople.	24
Figura 36. Desmontaje de chumacera.	25
Figura 37. Extractor de rodamientos. (SKF, 2017)	26
Figura 38. Desmontaje de sistema portaescobillas.....	26
Figura 39. Anillos rozantes sin los postes portaescobillas	26
Figura 40. Vista lado acople sin tapa	27

Figura 41. Maniobras en rotor para su extracción.....	28
Figura 42. Proceso de extracción de rotor.	28
Figura 43. Desmontaje de motores ventilador en el sistema de refrigeración.	29
Figura 44. Contaminación de polvillo de carbón en lado libre del estator.	30
Figura 45. Contaminación de polvillo de carbón en lado acople del estator.....	30
Figura 46. Contaminación con aceite en cabeza de bobina.....	30
Figura 47. Aspiradora Industrial.(KÄCHER, 2020a)	31
Figura 48. Hidro-lavadora de alta presión. (KÄCHER, 2020c).....	31
Figura 49. Equipo de limpieza con hielo seco.(KÄCHER, 2020b).....	32
Figura 50. Descargas parciales entre frases.	33
Figura 51. Descargas parciales entre fases.	33
Figura 52. Descargas parciales en cabeza de bobinas de estator.	33
Figura 53. Cables de conexión de estator en mal estado.	34
Figura 54. Rotor con presencia de alta contaminación.....	35
Figura 55. Rotor con presencia de papel en bobinas.	35
Figura 56. Rotor con contaminación en partes internas.....	35
Figura 57. Micrómetro de exteriores Mitutoyo. (MITUTOYO, n.d.).....	37
Figura 58. Eje asiento laberinto de aceite lado acople presenta rozamiento.....	37
Figura 59. Equipos de termorrociado (Metalizado) (METCO, n.d.).....	38
Figura 60. Elementos de aplicación para el proceso de termorrociado. (METCO, n.d.)	38
Figura 61. Hendidura en segundo anillo V.	39
Figura 62. Presencia de dos hendiduras equidistantes a 180 grados.	39
Figura 63. Torno para rectificado de anillos rozantes. (HELLER, n.d.)	39
Figura 64. Vista lateral del cojinete lado acople.	42
Figura 65. Averías en pista interna del cojinete desprendimiento del babbitt.	42
Figura 66. Cojinete parte superior lado libre con desprendimiento de babbitt.	43
Figura 67. Motor de 10 HP de sistema de ventilación con presencia de grasa y contaminación	45
Figura 68. Micro-ohmímetro AEMC (AEMC, n.d.-b).....	48
Figura 69. Causas principales de fallo de motores eléctricos. (Group, 2010)	49
Figura 70. Principales causas de contaminación de aislamiento. (Group, 2010).....	50
Figura 71. Megóhmetro 6550 AEMC.(AEMC, n.d.-a)	50
Figura 72. Gráfico de coeficiente K en función de la temperatura del devanado. (Group, 2010)	52
Figura 73. Grafica de valores de resistencia de aislamiento de rotor y estator de 8000 KW durante 10 min.	53
Figura 74. Valor de resistencia de aislamiento de Anillos rozantes de motor de 8000 KW	54
Figura 75. Sensor RTD Tipo PT-100 para devanado de estator.....	57
Figura 76. Sensor de temperatura RTD PT-100 para rodamientos o cajas de grasas.	58
Figura 77. Resistencia de calefacción.....	59
Figura 78. Multímetro Fluke 87V. (FLUKE, 2020)	59
Figura 79. Prueba de núcleo magnético.....	61
Figura 80. Cámara termográfica Fluke. (FLUKE, n.d.).....	62
Figura 81. Estator después de la reparación.	63
Figura 82. Montaje de rotor.....	64
Figura 83. Montaje de postes portaescobillas.	64

Figura 84. Montaje de caja de grasa lado acople.....	66
Figura 85. Montaje de caja de grasa lado libre.	66
Figura 86. Motor después de pintura.....	67
Figura 87. Motor listo para transporte y entrega.	68
Figura 88. Prueba de resistencia óhmica.	69
Figura 89. Grafica de resistencia de aislamiento de estator durante 10 min después del mantenimiento.....	69
Figura 90. Grafica de resistencia de aislamiento de rotor durante 10 min después del mantenimiento.....	70
Figura 91. Prueba de resistencia de aislamiento, IP, IA.	70
Figura 92. Prueba de alto potencial (HI-POT).....	72
Figura 93. Grafica de ondas de prueba de impulso (Estator sin cruce entre espiras).	73
Figura 94. Termómetro infrarrojo Fluke 572. (Fluke, n.d.-b)	75
Figura 95. Pinza amperimétrica Fluke. (Fluke, n.d.-a).....	75
Figura 96. Monitorización de vibraciones en pruebas en vacío.....	77
Figura 97. Grafica de niveles de vibración de acuerdo a Norma ISO 10816. (ISO, 2014)	77
Figura 98. Grafica de costes de mantenimiento preventivo anual.	80
Figura 99. Grafica de costes de mantenimiento preventivo anual.	80
Figura 100. Coste anual de mantenimiento predictivo.....	81
Figura 101. Grafica de coste anual acumulado de mantenimiento predictivo.....	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información técnica del acero para ejes de rotor síncrono	12
Tabla 2. Datos de motor síncrono Tecu Westinghouse.	22
Tabla 3. Cuadro de posibles tipos de fallos en escobillas. (Industrial, n.d.).....	42
Tabla 4. Intervalos de temperatura y horas de funcionamiento para cambio de aceite. (WEG, 2016)	45
Tabla 5. Resistencia Óhmica de estator y rotor.	48
Tabla 6. Voltajes de pruebas de resistencia de aislamiento	51
Tabla 7. Valores mínimos recomendados de resistencia de aislamiento a 40 °C (Todos los valores en MΩ)	52
Tabla 8. Valores de resistencia de aislamiento a motor de 8000 KW Tecu Westinghouse	52
Tabla 9. Valores de índice de polarización y estado de aislamiento.....	54
Tabla 10. Valores de resistencia de aislamiento y cálculo del IP de estator de 8000 KW.	54
Tabla 11. Valores de resistencia de aislamiento y cálculo del IP de rotor de 8000 KW.....	55
Tabla 12. Valores de índice de absorción y condición de aislamiento.....	55
Tabla 13. Impedancia Z de estator y rotor de motor de 8000 KW.....	56
Tabla 14. Clases de aislamiento.	58
Tabla 15. Temperatura de alarma y apagado de sensores PT100 de devanado de motor y cojinetes	58
Tabla 16. Valores de resistencia de sensores y resistencias de calefacción.	60
Tabla 17. Valores de temperatura de prueba de núcleo magnético.	62
Tabla 18. Medidas y tolerancias finales de eje y cojinetes.	65
Tabla 19. Valores de resistencia óhmica después del mantenimiento de estator y rotor.	68
Tabla 20. Valores de resistencia de aislamiento, IP, IA de estator después del mantenimiento.	69
Tabla 21. Valores de resistencia de aislamiento, IP, IA de rotor después del mantenimiento ..	70
Tabla 22. Valores de resistencia óhmica de sensores de temperatura y resistencias de calefacción.....	71
Tabla 23. Valor de tensión de prueba para prueba de alto potencia (HI-POT).....	72
Tabla 24. Valores de medida de temperatura durante pruebas finales en vacío.....	76
Tabla 25. Valores de medidas de vibraciones en pruebas dinámicas en vacío.....	77
Tabla 26. Cuadro de costes de mantenimiento para motor síncrono.	79

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Materiales de Almacén (62).....	85
Anexo B. Formato de Informe Mecánico	89
Anexo C. Tabla de tolerancia de ajustes para cojinetes planos en asientos de eje. (RENK, n.d.)	91
Anexo D. Formato de datos técnicos para selección de escobillas.....	92
Anexo E. Formato de informe de evaluación eléctrica.	93
Anexo F. Tabla de valores de temperatura y lectura de resistencia óhmica de sensor de temperatura PT100. (ARIAN, 2011)	96
Anexo G. Diagrama de flujo de mantenimiento de motores síncronos en taller.	97
Anexo H. Plan de Mantenimiento Preventivo de motor eléctrico síncrono.	101
Anexo I. Plan de Mantenimiento Predictivo para motor eléctrico síncrono.	104

RESUMEN

En el rubro industrial es de conocimiento la gran importancia que tienen las maquinas eléctricas rotativas y la gran cantidad y variedad de aplicaciones en la industria minera, cementera y de procesos de productivos, dentro de los tipos de máquinas eléctricas los motores síncronos actualmente tienen una vital importancia en diversas aplicaciones y procesos de industriales que entre sus principales ventajas se puede mencionar; corrección del factor de potencia, velocidad constante, alto rendimiento, toque elevado y estabilidad en aplicación con convertidores de frecuencia. Es por estas ventajas que en la industria se está optando por el uso de este tipo de máquinas eléctricas, es por este motivo que es necesario conocer y poder identificar las diversas técnicas y procesos para mantenimiento y reparación con la finalidad de asegurar la disponibilidad de estas máquinas.

El Trabajo Fin de Master va a detallar los procedimientos y técnicas de mantenimiento tanto correctivas preventivas y predictivas que son necesarias para asegurar la disponibilidad de los motores síncronos en resumen lo que se podrá evidenciar son los tipos de ensayos eléctricos medición resistencia óhmica, resistencia de aislamiento, índice de polarización, índice de absorción, medición y control de temperatura, limpieza y mantenimiento de los devanados, inspección del block de anillos rozantes y las escobillas entre otros componentes.

Los procedimientos que se detallaran en el siguiente Trabajo Fin de Master es decir el proceso de mantenimiento y reparación de motores síncronos han sido efectuados en un taller de mantenimiento y reparación de equipos rotativos en el cual se realizaban reparaciones eléctricas y mecánicas y pruebas eléctricas de funcionamiento en vacío.

Palabras clave: mantenimiento, motor síncrono, anillos rozantes, correctivo, preventivo, predictivo.

ABSTRACT

In the industrial sector, the great importance of rotary electrical machines and the large number and variety of applications in the mining, cement and production process industries are well known. Within the types of electrical machines, synchronous motors currently have a vital importance in various applications and industrial processes that among its main advantages can be mentioned; Power factor correction, constant speed, high performance, high touch and stability in application with frequency converters. It is for these advantages that the industry is opting for the use of this type of electrical machines, it is for this reason that it is necessary to know and be able to identify the various techniques and processes for maintenance and repair in order to ensure the availability of these machines.

The final master project will detail the maintenance procedures and techniques, both preventive and predictive, which are necessary to ensure the availability of synchronous motors. In summary, what can be evidenced are the types of electrical tests measuring ohmic resistance, resistance insulation, polarization index, absorption index, temperature measurement and control, cleaning and maintenance of the windings, inspection of the slip ring block and brushes among other components.

The procedures detailed in the following Master's Final Project, that is, the maintenance and repair process for synchronous motors, have been carried out in a rotating equipment maintenance and repair workshop in which electrical and mechanical repairs and electrical tests of idle operation.

Key words: maintenance, synchronous motor, slip rings, corrective, preventive, predictive.

RESUM

En la rubrica industrial és de coneixement la gran importància que tenen les màquines elèctriques rotatives i la gran quantitat i varietat d'aplicacions en la indústria minera, cimentera i de processos de productius, dins dels tipus de màquines elèctriques dels motors síncrons actualment tenen una vital importància en diverses aplicacions i processos d'industrials que entre els seus principals avantatges es pot esmentar; correcció del factor de potència, velocitat constant, alt rendiment, toc elevat i estabilitat en aplicació amb convertidors de freqüència. És per aquests avantatges que en la indústria s'està optant per l'ús d'aquest tipus de màquines elèctriques, és per aquest motiu que cal conèixer i poder identificar les diverses tècniques i processos per a manteniment i reparació amb la finalitat d'assegurar la disponibilitat d'aquestes màquines.

El treball fi de màster va detallar els procediments i tècniques de manteniment tant correctives preventives i predictives les quals són necessàries per a assegurar la disponibilitat dels motors síncrons, en resum el que es podrà evidenciar són els tipus d'assaigs elèctrics mesurament resistència òhmica, resistència d'aïllament, índex de polarització, índex d'absorció, mesurament i control de temperatura, neteja i manteniment dels debanats, inspecció de l'bloc de anells rozantes i les escombretes entre altres components.

Els procediments que es detallaran en el següent treball fi de màster, és a dir el procés de manteniment i reparació de motors síncrons han estat efectuats en un taller de manteniment i reparació d'equips rotatius en el qual es realitzaven reparacions elèctriques i mecàniques i proves elèctriques de funcionament en buit.

Paraules clau: manteniment, motor síncron, anells rozantes, correctiu, preventiu, predictiu.

1. INTRODUCCION

1.1 MOTIVACION

La experiencia profesional que obtuve durante los años que estuve trabajando en una compañía dedicada al mantenimiento de motores eléctricos en Perú, me dio la oportunidad de ganar conocimientos en el sector minero, industrial y de generación eléctrica y en donde los motores eléctricos cumplen una función importante en las operaciones y el proceso de producción.

Cuando comencé en este rubro sabía muy poco de motores eléctricos y del proceso de mantenimiento que estos necesitan es por eso que me motivó realizar mi trabajo final de Máster acerca del mantenimiento de motores eléctricos en este caso de un tipo de motor en especial que es el motor síncrono, con la finalidad que otras personas que se inician en este rubro tengan una guía del proceso de mantenimiento y los equipos y materiales que se emplean durante el proceso.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo general del siguiente trabajo final de Master consiste en el análisis del motor eléctrico síncrono así como su descripción, tipos de motores síncronos los componentes, principales fallas y sus causas con la finalidad hacer un detalle del proceso de mantenimiento y aspectos a tener en consideración.

Por lo mencionado anteriormente los objetivos principales son los siguientes:

- Descripción, análisis y estudio del motor eléctrico síncrono.
- Descripción del proceso de mantenimiento aplicado al motor eléctrico síncrono donde se van a detallar los componentes principales del motor así como los formatos utilizados para poder hacer la evaluación mecánica y eléctrica y realizar el diagnóstico del motor eléctrico síncrono.
- Analizar y describir las principales y recurrentes averías y plantear medidas preventivas y/o correctivas.
- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para motores eléctricos síncronos.
- Analizar la importancia y el impacto económico del mantenimiento en motores eléctricos síncronos.

2. ANTECEDENTES

En la industria actual el tipo de motor eléctrico mayormente usado es el motor eléctrico asíncrono ya que es utilizado en diversas aplicaciones esto se debe a su fácil fabricación, rendimiento y lo más importante a su bajo coste de mantenimiento.

Sin embargo lo que hace que este motor no sea perfecto es el factor de potencia, el cual no es muy elevado por lo que reduce la potencia efectiva del motor y genera un incremento en la energía reactiva para lo cual se necesitarían bancos de condensadores para poder reducirla al mínimo posible.

Debido al reducido factor de potencia es que se diseñó el motor eléctrico síncrono el cual vendría ser la solución más práctica para obtener un factor de potencia elevado sin embargo no es tan sencillo como parece, si bien es cierto existen modelos comerciales, el nivel de dificultad que existe al momento de la instalación arranque y mantenimiento hacen que los usuarios potenciales de estos motores de alguna manera limiten el uso de estos motores a aplicaciones específicas como la generación de energía eléctrica ya sea como generador eléctrico a bajas revoluciones para centrales hidroeléctricas o a altas revoluciones para aplicaciones de turbinas de gas o vapor. Además se emplean como motores de alta potencia y tienen su aplicación en la industria minera (molinos SAG) y debido al funcionamiento del motor síncrono puede operar absorbiendo o inyectando reactivos a la red este tipo de maquina es conocido como condensador síncrono el cual es usado para elevar el factor de potencia del sistema eléctrico de una planta o fábrica el cual tiende a ser inductivo.

Si bien es cierto los motores síncronos tienen una reducida presencia en aplicaciones específicas es importante conocer su funcionamiento y sus principales aplicaciones para así poder tener una mejor visión de cómo gestionar y aplicar el mantenimiento correcto a estas máquinas, a continuación se detallará al motor síncrono y su funcionamiento así como el proceso de mantenimiento que se aplica para un correcto funcionamiento ya sea de forma preventiva o correctiva.



Figura 1. Motor Síncrono ABB (ABB, 2018)

3. MOTOR SÍNCRONO

3.1 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR SÍNCRONO

Para poder hablar del motor síncrono debemos identificar que es parte del grupo de máquinas síncronas las cuales son máquinas eléctricas rotativas las cuales pueden trabajar como motor y generador. En caso de trabajar como motor convierte la energía eléctrica en energía mecánica y de trabajar como generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

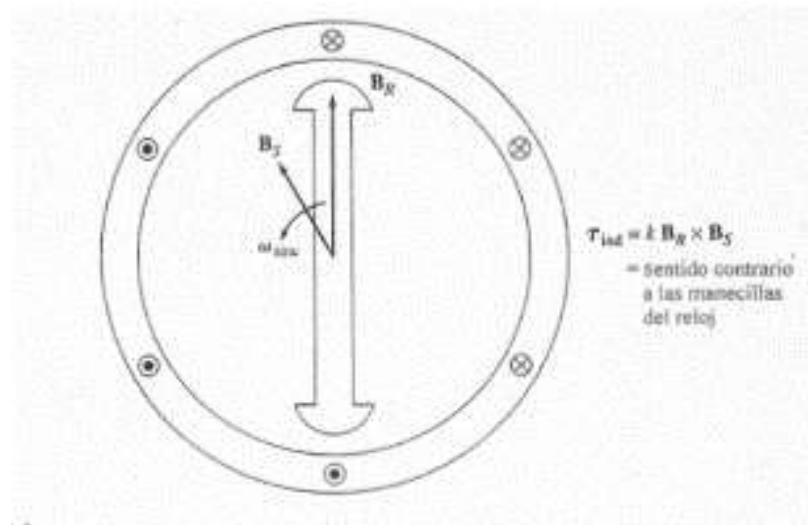


Figura 2. Diagrama motor síncrono de 2 polos. (Mogollón & Vargas, 2013)

Para poder entender mejor el principio de funcionamiento podemos observar la figura 2 una corriente I produce el campo magnético B_R y el voltaje trifásico aplicado al estator del motor de 2 polos producirá un flujo de corriente trifásico a los devanados los cuales van a producir el campo magnético rotacional B_S . Debido a la presencia de estos dos campos en el motor el campo que se genere en el rotor tenderá a alinearse con el campo del estator ya que este campo magnético es rotante por ello el campo magnético del rotor intentará constantemente emparejarse con él. A mayor ángulo entre los campos (con cierto límite) mayor será el par ejercido sobre el rotor del motor.

“Un motor síncrono es igual en todos los aspectos a un generador síncrono excepto en que la dirección del flujo de potencia de la máquina es invertida y con esto se espera que se invierta la dirección del flujo de corriente del estator” (Mogollón & Vargas, 2013)

Por lo cual se representa por la siguiente ecuación:

$$\bar{V}_a = \bar{E}_a + \bar{I}_a(R_a + jX_s) \quad (1)$$

Donde:

\bar{V}_a = Tensión de alimentación por fase.

\bar{E}_a = Fuerza contraelectromotriz inducida por fase.

I_a = Corriente de armadura por fase.

R_a = Resistencia de la armadura.

X_s = Reactancia síncrona de la armadura.

En la figura 3 se puede apreciar el circuito equivalente del motor síncrono.

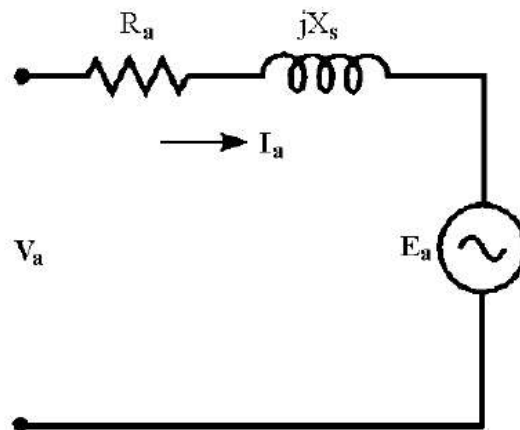


Figura 3. Circuito equivalente de motor síncrono. (Armengol Blanco, 2018)

La característica principal y base de funcionamiento del motor síncrono es que el rotor gira a la misma velocidad de sincronismo es decir que el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético giratorio que se genera en el estator.

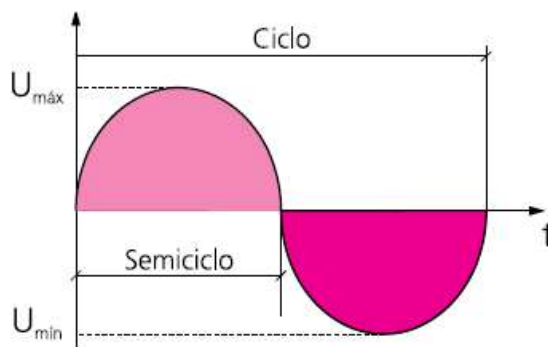


Figura 4. Alimentación de un motor Síncrono (Fondo Formación, 2001)

El motor síncrono es una máquina de corriente alterna es decir que su inducido (rotor) es un devanado de corriente alterna mono o polifásico similar al de un motor de inducción, por otro lado el devanado del inductor (rotor) trabaja con corriente continua, una característica de este tipo de motor es que ambos devanados deben tener el mismo número de polos y que el inductor (rotor) se alimente a través de anillos rozantes.

“En un motor síncrono su estator está recorrido por un sistema equilibrado de corrientes las cuales dan lugar a un campo magnético giratorio que al interactuar con el campo magnético

inductor hace girar al rotor a su misma velocidad es decir la velocidad de sincronismo"
(Rodríguez Pozueta, 2015)

La velocidad de giro dependerá del número de pares de polos del motor y de la frecuencia de red de alimentación eléctrica.

$$n_s = \frac{60 * f}{p} \quad (2)$$

Donde:

f = frecuencia de la corriente (Hz).

p = Pares de polos de la máquina.

n_s = Velocidad de giro de la maquina (rpm).

El inconveniente del motor síncrono es que no posee par de arranque únicamente cuando el rotor gira a velocidad de sincronismo o una velocidad cercana, este motor puede ejercer un par motor sobre el eje.

En cuanto al funcionamiento del motor síncrono cuando este es acoplado a una carga (supongamos un molino o bomba) se va a originar una reactancia inductiva en el bobinado inducido por lo cual origina una caída de tensión.

3.2 TIPOS DE MOTORES SÍNCRONOS

Dentro de los más comunes se encuentran los siguientes tipos de motores síncronos:

3.2.1 Motor síncrono de imanes permanentes (PMSM motors).-

Este motor es la combinación entre motor de inducción y un motor CC sin escobillas y cuyo funcionamiento y como su nombre lo dice se basa en imanes permanentes los cuales se encuentran en su rotor en cuanto a su estator es muy similar al de un motor de inducción sin embargo la densidad de potencia es mucho mayor a la de los motores de inducción. Con los imanes permanentes este motor puede producir un par motor a velocidad cero sin embargo requiere el suministro de un convertidor de frecuencia, dentro de sus principales características es capaz de entregar un alto par desde un pequeño tamaño a baja velocidad. (Farnell, 2019b)

3.2.2 Motor síncrono de imán permanente sin escobilla o brushless (BLDC motors).-

Este motor también conocido como motor conmutado electrónicamente no tiene escobillas, este motor con forma de onda contraelectromotriz única le permite tener un funcionamiento similar a un motor CC con escobillas sin embargo no trabaja con una fuente de tensión CC sin embargo el principio de funcionamiento es similar a un motor CC. Al no tener escobillas y conmutador las bobinas están conectadas con la central electrónica que es la que tiene la función de conmutador y activa el bobinado de acuerdo a un patrón de rotación en torno al estator el cual una vez activado controla el imán del rotor y conmuta cuando el rotor se alinea con el estator.

Este tipo de motores son ideales para aplicaciones que requieran fiabilidad, alta eficiencia, y alta relación potencia-volumen. (Farnell, 2019a)

3.2.3 Motor de reluctancia variable (VR motors).-

En este tipo de motores se van a eliminar los imanes permanentes las escobillas y conmutadores, el estator tiene unas laminaciones salientes de acero en forma de postes las cuales una serie de bobinas conectadas independientemente en pares de cada fase envuelven estos postes del estator, sin bobinas en el rotor este es prácticamente una pieza de acero para formar postes salientes. La corriente es conmutada en un patrón secuencial para genera un campo magnético giratorio, la reluctancia es la resistencia de un circuito magnético que cuando un par de polos son energizados el rotor se mueve para alinearse con el estator. (Universitat de València, 2008)

3.2.4 Motor paso a paso (Steppers motors).-

Este motor actúa como un campo magnético que rota, su función principal es convertir la entrada de pulsos digitales de forma mecánica a movimiento rotativo donde la velocidad y rotación tienen una relación directa con los pulsos, en este tipo de motor el desplazamiento del eje se cuenta en grados por ejemplo 30°, 45°, 90° dependiendo del motor el desplazamiento puede llegar a ser una fracción de grado por pulso recibido, el control de este tipo de motor desde dos variables el signo positivo o negativo que recibe el motor y la duración de los pulsos recibidos. Se dividen en tres tipos de motor, reluctancia variable, de imanes permanentes y de pasos híbridos. (Upna, 2014)

3.3 METODOS DE ARRANQUE DEL MOTOR SÍNCRONO.

Si a un motor sin movimiento se le conecta a la red para hacerlo funcionar lo que se podría apreciar es una fuerte vibración y sobrecalentamiento, para poder realizar el arranque correcto de un motor síncrono de forma segura existen métodos de arranque y dentro de los principales son los siguientes:

3.3.1 Arranque por reducción de frecuencia eléctrica.

Si los campos magnéticos del estator en un motor síncrono giran a una velocidad lo suficientemente baja, no habría ningún problema para que el rotor se acelere y se enlace con el campo magnético del estator. Entonces se puede incrementar la velocidad de los campos magnéticos del estator aumentando gradualmente la frecuencia hasta su valor nominal de 50 o 60 Hz. Para esto se pueden utilizar rectificadores inversores o cicloconvertidores los cuales pueden utilizarse para convertir cualquier entrada de frecuencia constante a cualquier frecuencia de salida deseada esto permite el control continuo de la frecuencia eléctrica aplicada al motor en todo el rango de desde una fracción de Hz. hasta la frecuencia nominal más elevada, si incluimos este sistema de control al motor simplemente se tendría que ajustar a una baja frecuencia para arrancar el motor y posteriormente elevarla hasta la frecuencia de trabajo deseada para un normal funcionamiento. (Monjo, n.d.)

3.3.2 Arranque mediante un variador de frecuencias.

Este método de arranque es aplicado cuando se emplea un variador para regular la velocidad en el cual se arranca el motor a una frecuencia muy baja a la que corresponde una velocidad síncrona lo suficientemente baja pero que a la vez pueda romper la inercia mecánica y sea capaz de girar a dicha velocidad, posteriormente se va aumentando gradualmente la frecuencia y su velocidad hasta que el rotor pueda alcanzar la velocidad normal de funcionamiento y completar el proceso de arranque del motor.

Cabe resaltar que el uso de un variador de frecuencia representa una inversión económica considerablemente alta para solo el arranque del motor.



Figura 5. Variadores de Frecuencia. (ABB, n.d.)

3.3.3 Arranque con motor externo.

Para poder llevar un motor a su velocidad de sincronismo se puede acoplar un motor externo para su arranque, una vez alcanzada esta velocidad, se conecta la maquina en paralelo a la red y se desconecta el externo del eje. El motor de arranque puede tener valores nominales bastante menores a los del motor síncrono que arranca ya que solo debe de superar la inercia del motor síncrono en vacío. Este método de arranque es mayormente utilizado en motores síncronos de gran potencia, una de las razones de la utilización de estos motores se debe a que muchos de los sistemas de potencia a los que están unidos no tienen la capacidad de soportar corrientes de arranque requeridas.



Figura 6. Condensador Síncrono y motor Pony ABB (Minera Antapaccay - Perú)

ABB Synchronous Generator			
Made in Pakistan, Exported by ABB Uy			
Type	AMZ 1600WV12 LSE	No	4617422
Year	2011	Phases	3
Duty	S1	Output	20000 kVA
Connection	Y	Voltage	6600 V
Insul.cl.	Insulation (Tempcl B)	Frequency	60 Hz
Weight	71000 kg	Speed	~ 600 (or 720) rpm
IP	44	Current	1750 A
IC	8A1W3	Power factor	0.9
IM	7211	Ambient	+25° C
Cooling water flow 50 m³/h, 15 °C		Excit.	114 Vdc 7.5 Adc
Altitude = 4200 m			

ABB Uy			
Made in Pakistan (15, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94, 96, 98, 100, 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128, 130, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146, 148, 150, 152, 154, 156, 158, 160, 162, 164, 166, 168, 170, 172, 174, 176, 178, 180, 182, 184, 186, 188, 190, 192, 194, 196, 198, 200, 202, 204, 206, 208, 210, 212, 214, 216, 218, 220, 222, 224, 226, 228, 230, 232, 234, 236, 238, 240, 242, 244, 246, 248, 250, 252, 254, 256, 258, 260, 262, 264, 266, 268, 270, 272, 274, 276, 278, 280, 282, 284, 286, 288, 290, 292, 294, 296, 298, 300, 302, 304, 306, 308, 310, 312, 314, 316, 318, 320, 322, 324, 326, 328, 330, 332, 334, 336, 338, 340, 342, 344, 346, 348, 350, 352, 354, 356, 358, 360, 362, 364, 366, 368, 370, 372, 374, 376, 378, 380, 382, 384, 386, 388, 390, 392, 394, 396, 398, 400, 402, 404, 406, 408, 410, 412, 414, 416, 418, 420, 422, 424, 426, 428, 430, 432, 434, 436, 438, 440, 442, 444, 446, 448, 450, 452, 454, 456, 458, 460, 462, 464, 466, 468, 470, 472, 474, 476, 478, 480, 482, 484, 486, 488, 490, 492, 494, 496, 498, 500, 502, 504, 506, 508, 510, 512, 514, 516, 518, 520, 522, 524, 526, 528, 530, 532, 534, 536, 538, 540, 542, 544, 546, 548, 550, 552, 554, 556, 558, 560, 562, 564, 566, 568, 570, 572, 574, 576, 578, 580, 582, 584, 586, 588, 590, 592, 594, 596, 598, 600, 602, 604, 606, 608, 610, 612, 614, 616, 618, 620, 622, 624, 626, 628, 630, 632, 634, 636, 638, 640, 642, 644, 646, 648, 650, 652, 654, 656, 658, 660, 662, 664, 666, 668, 670, 672, 674, 676, 678, 680, 682, 684, 686, 688, 690, 692, 694, 696, 698, 700, 702, 704, 706, 708, 710, 712, 714, 716, 718, 720, 722, 724, 726, 728, 730, 732, 734, 736, 738, 740, 742, 744, 746, 748, 750, 752, 754, 756, 758, 760, 762, 764, 766, 768, 770, 772, 774, 776, 778, 780, 782, 784, 786, 788, 790, 792, 794, 796, 798, 800, 802, 804, 806, 808, 810, 812, 814, 816, 818, 820, 822, 824, 826, 828, 830, 832, 834, 836, 838, 840, 842, 844, 846, 848, 850, 852, 854, 856, 858, 860, 862, 864, 866, 868, 870, 872, 874, 876, 878, 880, 882, 884, 886, 888, 890, 892, 894, 896, 898, 900, 902, 904, 906, 908, 910, 912, 914, 916, 918, 920, 922, 924, 926, 928, 930, 932, 934, 936, 938, 940, 942, 944, 946, 948, 950, 952, 954, 956, 958, 960, 962, 964, 966, 968, 970, 972, 974, 976, 978, 980, 982, 984, 986, 988, 990, 992, 994, 996, 998, 1000, 1002, 1004, 1006, 1008, 1010, 1012, 1014, 1016, 1018, 1020, 1022, 1024, 1026, 1028, 1030, 1032, 1034, 1036, 1038, 1040, 1042, 1044, 1046, 1048, 1050, 1052, 1054, 1056, 1058, 1060, 1062, 1064, 1066, 1068, 1070, 1072, 1074, 1076, 1078, 1080, 1082, 1084, 1086, 1088, 1090, 1092, 1094, 1096, 1098, 1100, 1102, 1104, 1106, 1108, 1110, 1112, 1114, 1116, 1118, 1120, 1122, 1124, 1126, 1128, 1130, 1132, 1134, 1136, 1138, 1140, 1142, 1144, 1146, 1148, 1150, 1152, 1154, 1156, 1158, 1160, 1162, 1164, 1166, 1168, 1170, 1172, 1174, 1176, 1178, 1180, 1182, 1184, 1186, 1188, 1190, 1192, 1194, 1196, 1198, 1200, 1202, 1204, 1206, 1208, 1210, 1212, 1214, 1216, 1218, 1220, 1222, 1224, 1226, 1228, 1230, 1232, 1234, 1236, 1238, 1240, 1242, 1244, 1246, 1248, 1250, 1252, 1254, 1256, 1258, 1260, 1262, 1264, 1266, 1268, 1270, 1272, 1274, 1276, 1278, 1280, 1282, 1284, 1286, 1288, 1290, 1292, 1294, 1296, 1298, 1300, 1302, 1304, 1306, 1308, 1310, 1312, 1314, 1316, 1318, 1320, 1322, 1324, 1326, 1328, 1330, 1332, 1334, 1336, 1338, 1340, 1342, 1344, 1346, 1348, 1350, 1352, 1354, 1356, 1358, 1360, 1362, 1364, 1366, 1368, 1370, 1372, 1374, 1376, 1378, 1380, 1382, 1384, 1386, 1388, 1390, 1392, 1394, 1396, 1398, 1400, 1402, 1404, 1406, 1408, 1410, 1412, 1414, 1416, 1418, 1420, 1422, 1424, 1426, 1428, 1430, 1432, 1434, 1436, 1438, 1440, 1442, 1444, 1446, 1448, 1450, 1452, 1454, 1456, 1458, 1460, 1462, 1464, 1466, 1468, 1470, 1472, 1474, 1476, 1478, 1480, 1482, 1484, 1486, 1488, 1490, 1492, 1494, 1496, 1498, 1500, 1502, 1504, 1506, 1508, 1510, 1512, 1514, 1516, 1518, 1520, 1522, 1524, 1526, 1528, 1530, 1532, 1534, 1536, 1538, 1540, 1542, 1544, 1546, 1548, 1550, 1552, 1554, 1556, 1558, 1560, 1562, 1564, 1566, 1568, 1570, 1572, 1574, 1576, 1578, 1580, 1582, 1584, 1586, 1588, 1590, 1592, 1594, 1596, 1598, 1600, 1602, 1604, 1606, 1608, 1610, 1612, 1614, 1616, 1618, 1620, 1622, 1624, 1626, 1628, 1630, 1632, 1634, 1636, 1638, 1640, 1642, 1644, 1646, 1648, 1650, 1652, 1654, 1656, 1658, 1660, 1662, 1664, 1666, 1668, 1670, 1672, 1674, 1676, 1678, 1680, 1682, 1684, 1686, 1688, 1690, 1692, 1694, 1696, 1698, 1700, 1702, 1704, 1706, 1708, 1710, 1712, 1714, 1716, 1718, 1720, 1722, 1724, 1726, 1728, 1730, 1732, 1734, 1736, 1738, 1740, 1742, 1744, 1746, 1748, 1750, 1752, 1754, 1756, 1758, 1760, 1762, 1764, 1766, 1768, 1770, 1772, 1774, 1776, 1778, 1780, 1782, 1784, 1786, 1788, 1790, 1792, 1794, 1796, 1798, 1800, 1802, 1804, 1806, 1808, 1810, 1812, 1814, 1816, 1818, 1820, 1822, 1824, 1826, 1828, 1830, 1832, 1834, 1836, 1838, 1840, 1842, 1844, 1846, 1848, 1850, 1852, 1854, 1856, 1858, 1860, 1862, 1864, 1866, 1868, 1870, 1872, 1874, 1876, 1878, 1880, 1882, 1884, 1886, 1888, 1890, 1892, 1894, 1896, 1898, 1900, 1902, 1904, 1906, 1908, 1910, 1912, 1914, 1916, 1918, 1920, 1922, 1924, 1926, 1928, 1930, 1932, 1934, 1936, 1938, 1940, 1942, 1944, 1946, 1948, 1950, 1952, 1954, 1956, 1958, 1960, 1962, 1964, 1966, 1968, 1970, 1972, 1974, 1976, 1978, 1980, 1982, 1984, 1986, 1988, 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020, 2022, 2024, 2026, 2028, 2030, 2032, 2034, 2036, 2038, 2040, 2042, 2044, 2046, 2048, 2050, 2052, 2054, 2056, 2058, 2060, 2062, 2064, 2066, 2068, 2070, 2072, 2074, 2076, 2078, 2080, 2082, 2084, 2086, 2088, 2090, 2092, 2094, 2096, 2098, 2100, 2102, 2104, 2106, 2108, 2110, 2112, 2114, 2116, 2118, 2120, 2122, 2124, 2126, 2128, 2130, 2132, 2134, 2136, 2138, 2140, 2142, 2144, 2146, 2148, 2150, 2152, 2154, 2156, 2158, 2160, 2162, 2164, 2166, 2168, 2170, 2172, 2174, 2176, 2178, 2180, 2182, 2184, 2186, 2188, 2190, 2192, 2194, 2196, 2198, 2200, 2202, 2204, 2206, 2208, 2210, 2212, 2214, 2216, 2218, 2220, 2222, 2224, 2226, 2228, 2230, 2232, 2234, 2236, 2238, 2240, 2242, 2244, 2246, 2248, 2250, 2252, 2254, 2256, 2258, 2260, 2262, 2264, 2266, 2268, 2270, 2272, 2274, 2276, 2278, 2280, 2282, 2284, 2286, 2288, 2290, 2292, 2294, 2296, 2298, 2300, 2302, 2304, 2306, 2308, 2310, 2312, 2314, 2316, 2318, 2320, 2322, 2324, 2326, 2328, 2330, 2332, 2334, 2336, 2338, 2340, 2342, 2344, 2346, 2348, 2350, 2352, 2354, 2356, 2358, 2360, 2362, 2364, 2366, 2368, 2370, 2372, 2374, 2376, 2378, 2380, 2382, 2384, 2386, 2388, 2390, 2392, 2394, 2396, 2398, 2400, 2402, 2404, 2406, 2408, 2410, 2412, 2414, 2416, 2418, 2420, 2422, 2424, 2426, 2428, 2430, 2432, 2434, 2436, 2438, 2440, 2442, 2444, 2446, 2448, 2450, 2452, 2454, 2456, 2458, 2460, 2462, 2464, 2466, 2468, 2470, 2472, 2474, 2476, 2478, 2480, 2482, 2484, 2486, 2488, 2490, 2492, 2494, 2496, 2498, 2500, 2502, 2504, 2506, 2508, 2510, 2512, 2514, 2516, 2518, 2520, 2522, 2524, 2526, 2528, 2530, 2532, 2534, 2536, 2538, 2540, 2542, 2544, 2546, 2548, 2550, 2552, 2554, 2556, 2558, 2560, 2562, 2564, 2566, 2568, 2570, 2572, 2574, 2576, 2578, 2580, 2582, 2584, 2586, 2588, 2590, 2592, 2594, 2596, 2598, 2600, 2602, 2604, 2606, 2608, 2610, 2612, 2614, 2616, 2618, 2620, 2622, 2624, 2626, 2628, 2630, 2632, 2634, 2636, 2638, 2640, 2642, 2644, 2646, 2648, 2650, 2652, 2654, 2656, 2658, 2660, 2662, 2664, 2666, 2668, 2670, 2672, 2674, 2676, 2678, 2680, 2682, 2684, 2686, 2688, 2690, 2692, 2694, 2696, 2698, 2700, 2702, 2704, 2706, 2708, 2710, 2712, 2714, 2716, 2718, 2720, 2722, 2724, 2726, 2728, 2730, 2732, 2734, 2736, 2738, 2740, 2742, 2744, 2746, 2748, 2750, 2752, 2754, 2756, 2758, 2760, 2762, 2764, 2766, 2768, 2770, 2772, 2774, 2776, 2778, 2780, 2782, 2784, 2786, 2788, 2790, 2792, 2794, 2796, 2798, 2800, 2802, 2804, 2806, 2808, 2810, 2812, 2814, 2816, 2818, 2820, 2822, 2824, 2826, 2828, 2830, 2832, 2834, 2836, 2838, 2840, 2842, 2844, 2846, 2848, 2850, 2852, 2854, 2856, 2858, 2860, 2862, 2864, 2866, 2868, 2870, 2872, 2874, 2876, 2878, 2880, 2882, 2884, 2886, 2888, 2890, 2892, 2894, 2896, 2898, 2900, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2914, 2916, 2918, 2920, 2922, 2924, 2926, 2928, 2930, 2932, 2934, 2936, 2938, 2940, 2942, 2944, 2946, 2948, 2950, 2952, 2954, 2956, 2958, 2960, 2962, 2964, 2966, 2968, 2970, 2972, 2974, 2976, 2978, 2980, 2982, 2984, 2986, 2988, 2990, 2992, 2994, 2996, 2998, 3000, 3002, 3004, 3006, 3008, 3010, 3012, 3014, 3016, 3018, 3020, 3022, 3024, 3026, 3028, 3030, 3032, 3034, 3036, 3038, 3040, 3042, 3044, 3046, 3048, 3050, 3052, 3054, 3056, 3058, 3060, 3062, 3064, 3066, 3068, 3070, 3072, 3074, 3076, 3078, 3080, 3082, 3084, 3086, 3088, 3090, 3092, 3094, 3096, 3098, 3100, 3102, 3104, 3106, 3108, 3110, 3112, 3114, 3116, 3118, 3120, 3122, 3124, 3126, 3128, 3130, 3132, 3134, 3136, 3138, 3140, 3142, 3144, 3146, 3148, 3150, 3152, 3154, 3156, 3158, 3160, 3162, 3164, 3166, 3168, 3170, 3172, 3174, 3176, 3178, 3180, 3182, 3184, 3186, 3188, 3190, 3192, 3194, 3196, 3198, 3200, 3202, 3204, 3206, 3208, 3210, 3212, 3214, 3216, 3218, 3220, 3222, 3224, 3226, 3228, 3230, 3232, 3234, 3236, 3238, 3240, 3242, 3244, 3246, 3248, 3250, 3252, 3254, 3256, 3258, 3260, 3262, 3264, 3266, 3268, 3270, 3272, 3274, 3276, 3278, 3280, 3282, 3284, 3286, 3288, 3290, 3292, 3294, 3296, 3298, 3300, 3302, 3304, 3306, 3308, 3310, 3312, 3314, 3316, 3318, 3320, 3322, 3324, 3326, 3328, 3330, 3332, 3334, 3336, 3338, 3340, 3342, 3344, 3346, 3348, 3350, 3352, 3354, 3356, 3358, 3360, 3362, 3364, 3366, 3368, 3370, 3372, 3374, 3376, 3378, 3380, 3382, 3384, 3386, 3388, 3390, 3392, 3394, 3396, 3398, 3400, 3402, 3404, 3406, 3408, 3410, 3412, 3414, 3416, 3418, 3420, 3422, 3424, 3426, 3428, 3430, 3432, 3434, 3436, 3438, 3440, 3442, 3444, 3446, 3448, 3450, 3452, 3454, 3456, 3458, 3460, 3462, 3464, 3466, 3468, 3470, 3472, 3474, 3476, 3478, 3480, 3482, 3484, 3486, 3488, 3490, 3492, 3494, 3496, 3498, 3500, 3502, 3504, 3506, 3508, 3510, 3512, 3514, 3516, 3518, 3520, 3522, 3524, 3526, 3528, 3530, 3532, 3534, 3536, 3538, 3540, 3542, 3544, 3546, 3548, 3550, 3552, 3554, 3556, 3558, 3560, 3562, 3564, 3566, 3568, 3570, 3572, 3574, 3576, 3578, 3580, 3582, 3584, 3586, 3588, 3590, 3592, 3594, 3596, 3598, 3600, 3602, 3604, 3606, 3608, 3610, 3612, 3614, 3616, 3618, 3620, 3622, 3624, 3626, 3628, 3630, 3632, 3634, 3636, 3638, 3640, 3642, 3644, 3646, 3648, 3650, 3652, 3654, 3656, 3658, 3660, 3662, 3664, 3666, 3668, 3670, 3672, 3674, 3676, 3678, 3680, 3682, 3684, 3686, 3688, 3690, 3692, 3694, 3696, 3698, 3700, 3702, 3704, 3706, 3708, 3710, 3712, 3714, 3716, 3718, 3720, 3722, 3724, 3726, 3728, 3730, 3732, 3734, 3736, 3738, 3740, 3742, 3744, 3746, 3748, 3750, 3752, 3754, 3756, 3758, 3760, 3762, 3764, 3766, 3768, 3770, 3772, 3774, 3776, 3778, 3780, 3782, 3784, 3786, 3788, 3790, 3792, 3794, 3796, 3798, 3800, 3802, 3804, 3806, 3808, 3810, 3812, 3814, 3816, 3818, 3820, 3822, 3824, 3826, 3828, 3830, 3832, 3834, 3836, 3838, 3840, 3842, 3844, 3846, 3848, 3850, 3852, 3854, 3856, 3858, 3860, 3862, 3864, 3866, 3868, 3870, 3872, 3874, 3876, 3878, 3880, 3882, 3884, 3886, 3888, 3890, 3892, 3894, 3896, 3898, 3900, 3902, 3904, 3906, 3908, 3910, 3912, 3914, 3916, 3918, 3920, 3922, 3924, 3926, 3928, 3930, 3932, 3934, 3936, 3938, 3940, 3942, 3944, 3946, 3948, 3950, 3952, 3954, 3956, 3958, 3960, 3962, 3964, 3966, 3968, 3970, 3972, 3974, 3976, 3978, 3980, 3982, 3984, 3986, 3988, 3990, 3992, 3994, 3996, 3998, 4000, 4002, 4004, 4006, 4008, 4010, 4012, 4014, 4016, 4018, 4020, 4022, 4024, 4026, 4028, 4030			

3.4 APLICACIONES EN LA INDUSTRIAL DEL MOTOR SÍNCRONO.

Los motores síncronos en su mayoría son utilizados y actualmente están siendo seleccionados mayormente para aplicaciones de alta potencia para operar con cargas pesadas. Esto gracias a la capacidad de reducción de costes de consumo eléctrico (caso condensador síncrono) y la mejora del rendimiento mediante la corrección del factor de potencia. Económicamente y de acuerdo al tamaño de la operación de la empresa es una buena opción de inversión debido al ahorro de energía que generan.

Además de la corrección del factor de potencia los motores síncronos generan un par elevado a velocidad constante bajo cargas variables estas ventajas explican la razón del porque son utilizado en diferentes sectores de la industria

- Minería (molinos, chancadoras cintas transportadoras).
- Siderurgia (laminadores, ventiladores, bombas y compresores).
- Papel (extrusoras, picadoras, desfibradoras, compresores, y refinadoras).
- Saneamiento (bombas).
- Cemento (chancadoras, molinos y cintas transportadoras).
- Transmisión de energía (compensadores síncronos).
- Petroquímica (compresores, ventiladores)
- Marina y alta mar (motores de velocidad variable en propulsores azimutales)



Figura 8. GMD para molino SAG en Minera Cerro Verde (Perú) accionado por motor síncrono. (ABB, 2012)



Figura 9. Motor síncrono Helmke Cementos Yura (Perú).

4. CONSTITUCION DEL MOTOR ELÉCTRICO SÍNCRONO.

Los motores síncronos están compuestos básicamente como cualquier motor de corriente alterna con algunas diferencias y diseño en su construcción que dependen de los fabricantes y diseños que nos harían creer que solo existen para determinadas potencias estas diferencias las detallaremos a continuación y describiremos las opciones más comunes en cuanto al diseño y construcción del motor síncrono:

4.1 CARCASA

La cual es la parte externa del motor cuya función es de apoyar y proteger el motor alojando el paquete magnético como los devanados del estator su construcción varía pueden estar diseñadas para trabajar tanto horizontalmente como verticalmente y con grados de protección dependiendo de las necesidades y el ambiente de trabajo. En cuanto al material en la que está construida se utiliza chapas y perfiles de acero soldado con forman un conjunto sólido y robusto para la base del motor con la finalidad de soportar los esfuerzo mecánicos que puedan provenir de eventuales cortocircuitos y vibraciones.



Figura 10. Carcasa de motor Síncrono. (WEG, 2015)

4.2 ESTATOR.

El estator del motor síncrono está compuesto por chapas de acero de silicio agrupadas en que dan forma al núcleo magnético del estator el cual tienen la función de alojar a los devanados del estator el cual trabaja con corriente alterna para poder generar el campo magnético giratorio.



Figura 11. Estator de Motor Síncrono Tecu Westinghouse 8000 KW

4.3 ROTOR.

En cuanto al rotor del motor síncrono este se puede dividir en dos modelos que regularmente son usados en los diseños de los motores por los diferentes fabricantes cabe resaltar que el rotor además está compuesto de un eje de acero forjado para resistir a la tracción torsión y cambios de flexión el más común para motores de gran tamaño es el acero AISI 4340, la punta del eje normalmente es cilíndrica o bridada.

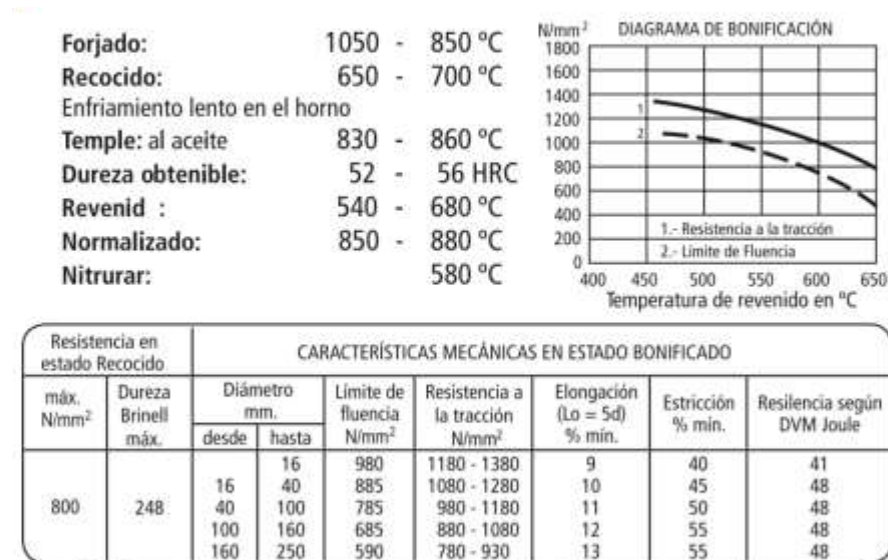


Tabla 1. Información técnica del acero para ejes de rotor síncrono

4.3.1 ROTOR DE POLOS LISOS.

La forma de este tipo de rotor es cilíndrica con ranuras paralelas donde van alojados los devanados del rotor está fabricado de acero solido a continuación algunas características particulares del rotor de polos lisos.

- En cuanto a diámetro son más pequeños en comparación con el rotor de polos salientes sin embargo en longitud axial son mucho más largos.
- Generan menos ruido y pérdida de viento en comparación a los rotores de polos salientes.
- Posee una construcción robusta.



Figura 12. Rotor de Motor Teco Westinghouse de polos lisos.

4.3.2 ROTOR DE POLOS SALIENTES.

El rotor de polos salientes consiste en un gran número de postes proyectados (polos salientes) los cuales están montados en una rueda magnética, los postes proyectados están compuestos de láminas de acero mientras que el devanado se distribuye en estos polos los cuales se apoyan en las zapatas de los postes a continuación algunas características más comunes:

- Los rotores de polos salientes tienen un gran diámetro y longitud axial.
- Por lo general son utilizados para maquinas a bajas velocidades entre 100 – 1500 rpm.
- Para que la velocidad del rotor se la más baja posible es necesario contar con un mayor número de polos en el rotor para alcanzar la frecuencia requerida, usualmente el número de polos está comprendido entre 4 – 60 polos.
- Este tipo de rotores son más utilizados en generadores eléctricos.



Figura 13. Rotor de polos salientes de 4 polos. (ABB, 2018)

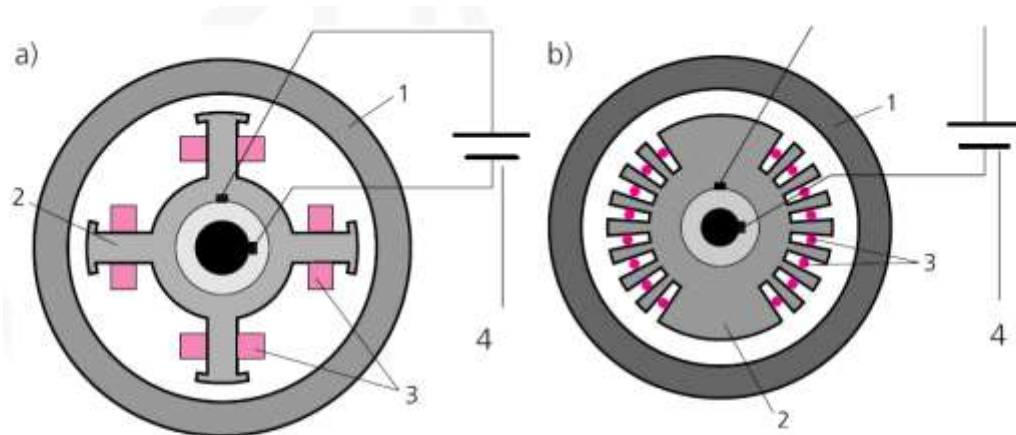


Figura 14. Disposición del rotor de motor Síncrono. (Fondo Formación, 2001)

Donde:

- a. Rotor polos salientes
- b. Rotor polos lisos
- 1. Estator
- 2. Rotor
- 3. Devanados de excitación
- 4. Excitación de corriente continua.



Figura 15. Vista interior de Motor Síncrono WEG (WEG, n.d.)

4.4 ANILLOS ROZANTES.

Los anillos rozantes de un motor síncrono permiten la alimentación de corriente de los polos del rotor a través a través del contacto deslizante para poder energizar los polos la corriente continua debe de provenir de un convertidor o un y de un controlador estático AC/CC externo al motor

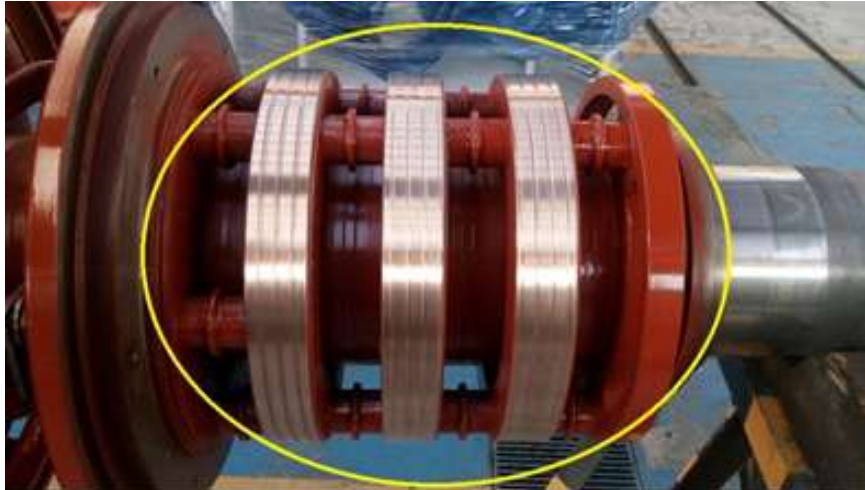


Figura 16. Anillos Rozantes motor Helmke 3350 KW

4.5 ESCOBILLAS.

Como se mencionó anteriormente el uso de escobillas es utilizado en los motores síncronos es por ellos que las escobillas de carbón son fundamentales en el funcionamiento del motor síncrono se le puede definir como el elemento que hace la función de conexión eléctrica entre la parte fija y móvil (rotor) ejerciendo presión en sobre los anillos rozantes con la finalidad de generar el contacto y dejar el paso de corriente.

Las escobillas se van a clasificar de acuerdo al grado de carbón de se utiliza en su fabricación o para el que están diseñados entre los principales tipos se encuentran los siguientes:

- Carbón Grafito.
- Electrografito.
- Grafitos.
- Metal Grafitos.



Figura 17. Escobillas para motor eléctrico. (Industrial, n.d.)

4.6 RODAMIENTOS, COJINETES DESLIZANTES (CHUMACERAS)

Los rodamientos son parte importante en funcionamiento del motor síncronos es por eso que los tenemos que nombrar ya que llevar un correcto mantenimiento es decir la revisión sistemática y cambio de rodamientos por horas de funcionamiento el cual debe de realizarse por tema de fiabilidad en el funcionamiento de la maquina síncrona, dentro de los más comunes podemos mencionar a los rodamientos con elementos rodantes de bolas y cilíndricos el uso y selección de estos rodamientos dependen de cuanta carga axial o radial serán sometidos, estos rodamientos pueden ser lubricados con aceite o grasa.



Figura 18. Rodamientos de bolas y rodillos. (SKF, 2018)

Por otra parte y para motores síncronos de gran potencia es más apropiado usar los cojinetes deslizantes (chumaceras) los cuales tienen una lubricación natural (autolubrificables) y lubricación forzada (sistema de lubricación externa)



Figura 19. Diagrama de explosión de cojinete deslizante. (Technology, n.d.)



Figura 20. Componentes de cojinetes deslizantes. (RENK, n.d.)

5. EVALUACION Y MANTENIMIENTO DE MOTOR SÍNCRONO.

Previamente se ha explicado el principio de funcionamiento la constitución de un motor síncrono así como sus aplicaciones en la industria, a continuación se comenzara a explicar y detallar las consideraciones y procedimientos que se tienen que realizar para llevar a cabo un correcto mantenimiento del motor síncrono dentro de un taller de mantenimiento y reparación especializado en el cual estuve laborando en Perú.

En primera instancia se va a describir las instalaciones del taller para poder explicar y ver las instalaciones y situaciones recomendadas donde llevar a cabo el mantenimiento y/o reparación del motor síncrono.

5.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES DEL TALLER DE MANTENIMIENTO Y REPARACION DE MOTORES.

La empresa se encuentra localizada en Arequipa - Perú (Sudamérica) en la cual cuenta con una división de servicio de mantenimiento y reparación de motores y generadores baja y media tensión así como servicio en campo (instalaciones del cliente).

El taller se encuentra ubicado en la zona sur del Perú en la ciudad de Arequipa el cual es una zona estratégica por la proximidad de los grandes proyectos y operaciones mineras de Perú.

La empresa cuenta con un área de 11000 m² y un área de reparación exclusiva de 2500 m² además que cuenta con un área periférica de carga y descarga de motores así como zonas de almacenamiento y almacenes de repuestos y materiales necesarios para el mantenimiento y reparación.



Figura 21. Ubicación Taller de Mantenimiento de Motores.



Figura 22. Vista exterior de la empresa.



Figura 23. Vista exterior de la nave del taller de Reparación de Motores.

El taller actualmente cuenta con las siguientes características y especificadas las cuales son necesarias y esenciales para el desarrollo de los trabajos.

- Capacidad de carga de los puentes grúa es de hasta 60 toneladas.
- Capacidad de pruebas eléctricas para motores hasta 8000 KW con tensión nominal de hasta 13.8 Kv.
- El proceso de tratamiento térmico se lleva a cabo en dos hornos de gran capacidad.
- Cuenta con un sistema de impregnación al vacío (VPI) para estatores y rotores.
- Cuenta con un sistema para balanceo dinámico para rotores de hasta 15 toneladas.
- Cuenta con máquinas bobinadoras de gran tamaño y un área para aislamiento de bobinas.
- Cuenta un torno con una bancada de 6 metros para trabajos mecánicos de alta precisión.
- Cuenta con equipos de instrumentación para pruebas y diagnóstico de motores.
- Cuenta con un equipo de limpieza criogénica (hielo seco) utilizado para los servicios en campo y trabajos en taller así como una hidrolavadora para limpieza de estatores y rotores.



Figura 24. Oficina y Área de pruebas



Figura 25. Área de montaje pintura y horno



Figura 26. Área de Bobinados

La empresa cuenta con un área exclusiva de almacén en el cual se tienen los materiales de mayor rotación o comúnmente usados los cuales son necesarios para el mantenimiento de los motores eléctricos, en el Anexo A se detallan los materiales que tienen rotación en almacén:



Figura 27. Distribución de material aislante



Figura 28. Distribución de alambre de cobre clase H pletina de cobre y cables para conexiones.



Figura 29. Distribución y codificado de sensores de temperatura de estator

5.2 DESMONTAJE, EVALUACION MECANICA DE MOTOR Y RECOMENDACIONES PARA SU MANTENIMIENTO.

Una vez el rotor ingresa al taller a este se le asigna un numero de orden de servicio el cual utilizaremos para referenciar al motor durante todo el proceso de mantenimiento y/o reparación esto se realiza con la finalidad de poder tener un seguimiento y trazabilidad de la data histórica del motor ya que muchos motores pueden haber tenido varias intervenciones anteriormente en el taller, y saber que se realizó anteriormente o en qué condiciones se entregó el motor será de mucha utilidad y ayuda al momento de una nueva evaluación y así poder identificar el grado de desgaste de los componentes mecánicos que hayan podido sufrir (sean estos alojamientos asientos de rodaje, chumaceras, anillos rozantes) así como la degradación del aislamiento de las bobinas del estator y/o rotor.

Para poder realizar el análisis y detallar el proceso de mantenimiento y reparación del motor síncrono tomaremos de referencia a partir de ahora el motor de las siguientes características y el cual es un motor que de molino SAG utilizando en minería específicamente en la extracción y procesamiento de cobre:

Referencia del Cliente	
Serial No	LXE12B852-1
Marca	TECO WESTINGHOUSE
Modelo / Tipo	AEZH – S2
Potencia (kW)	8000
Voltaje Prim. (kV)	13.8
Corriente Prim. (A)	408
Voltaje Sec. (kV)	2815
Corriente Sec. (A)	1647
Frecuencia (Hz)	60
Velocidad (rpm)	896
Numero de Polos	8
Clase de Aislamiento	F
Factor de servicio	1.15

Tabla 2. Datos de motor síncrono Tecu Westinghouse.

El número de orden de servicio que se le asignó al motor con los datos anteriormente mencionados es:

2020012

Donde:

20 vendría a representar el año vigente 2020.

20 representa el código del taller en este caso 20 corresponde a la ciudad de Arequipa.

012 representa el número de servicios realizados, es decir que previamente se realizaron 11 servicios a motores eléctricos.

Una vez asignado el número de servicio al motor se procede podrá proceder a realizar la evaluación y diagnóstico del motor síncrono.

Con número de orden de servicio 2020012 el motor de 8000 kW de marca Teco Westinghouse se le hará una inspección visual del identificando en las condiciones físicas en las que se encuentra si es que le falta algún componente y siempre resaltando e indicando el estado de los componentes que se reciben para así colocarlo en el informe de evaluación, una vez realizada la inspección se va a proceder al desmontaje del motor:



Figura 30. Recepción de motor Teco Westinghouse 8000 kW.



Figura 31. Recepción de motor vista lado acople.



Figura 32. Recepción de motor vista lado libre



Figura 33. Recepción sistema de ventilación de motor.

Para poder realizar una correcta evaluación del motor es necesario desmontar el motor en su totalidad para este caso en particular se puede realizar dicha actividad dado que el usuario envió el motor al taller para realizar el mantenimiento y reparaciones necesarias ya que presento fallos durante su operación el desmontaje consiste en lo siguiente:

- Para el desmontaje de este motor en particular, se hará uso de los puentes grúa del taller que son de gran importancia en este primer proceso de desmontaje, lo que se debería realizar en primer lugar sería el desmontaje del acople con el que llegó el motor, este proceso se realiza mediante el uso de un equipo especial para extracción de acoples (Ver figura 34) para este caso en particular no será necesario realizar la extracción del acople ya que el diseño de la tapa del motor permite el desmontaje sin la necesidad de extraer el acople (Ver figura 35).



Figura 34. Extractor hidráulico Posi Lock 100 Tn. (ENERPAC, 2016)



Figura 35. Vista de tapa lado acople.

- Desmontaje de chumaceras (Cojinetes deslizantes) en este caso en particular el motor trabaja con chumaceras o cojinetes deslizantes por lo cual previo al desmontaje de los housings de cada chumacera es necesario drenar el aceite lubricante que puedan contener las chumares, una vez realizado, se procede a retirar la pernería de fijación y desconectar los sensores de temperatura y vibración con el que llegaron estos compontes para lo cual la chumacera se encuentra lista para retirar la parte superior del housing (Ver figura 36) y proceder con el desmontaje en su totalidad, no olvidar que siempre será necesario el uso de eslingas y de los puentes grúa debido a las dimensiones y peso de los componentes, tanto las eslingas y los puentes grúas y otros equipos serán necesarios para asegurar un correcto desmontaje y posterior montaje siempre con la seguridad debida y logrando una mayor eficiencia en cuanto a las horas que se emplearan en dichas tareas. En caso que el motor síncrono llegara con rodamientos de bolas o rodillos estos tendrán que ser desmontados haciendo uso de un extractor de rodamientos (Ver figura 37) y un calentador de rodamientos con la finalidad de dilatar la pista interna del rodamiento y permita reducir el ajuste y el extractor pueda retirar el rodamiento de formar rápida.



Figura 36. Desmontaje de chumacera.



Figura 37. Extractor de rodamientos. (SKF, 2017)

- Desmontaje de sistema porta-escobillas el cual está anclado mediante pernos de fijación a la tapa del lado libre del motor es necesario retirar las escobillas y posteriormente los postes porta-escobillas retirando la pernería de fijación una vez retirado los postes se procederá al desmontaje a detalle de los cajetines donde van alojadas las escobillas así como los resortes de presión constante que son los que ejercen la presión de la escobilla hacia los anillos rozantes, una vez retirados es necesario desmontaje el compartimiento que se puede apreciar figura 38 para posteriormente poder retirar el rotor, en la figura 39 se puede apreciar como un operario está trasladando con el puente grúa el compartimiento del sistema portaescobillas.



Figura 38. Desmontaje de sistema portaescobillas.



Figura 39. Anillos rozantes sin los postes portaescobillas

- Una vez retirados los componentes antes mencionados se procede al desmontaje de las tapas laterales del motor haciendo uso del puente grúa y eslingas para las maniobras, el desmontaje consiste en el retiro de la pernería de fijación a la carcasa del estator además se procederá a realizar el desmontaje de piezas adicionales que puedan contener las tapas ya sean contratapas y otros accesorios de motor luego de esto es muy importante almacenar todos estos componentes en un lugar y con la OS de referencia para poder identificar que esas piezas le pertenecen al motor que estamos interviniendo y además con la finalidad que no falten piezas en el momento del montaje del motor una vez realizado el mantenimiento. (Ver figura 40)



Figura 40. Vista lado acople sin tapa

- Retiro de rotor de estator, para realizar dicha tarea se tendrán que realizar maniobras de izaje las cuales se deben de realizar con mucho cuidado y haciendo uso de los puentes grúas uno por cada lado del eje del rotor y haciendo uso de tubos que deben de tener un mayor diámetro que el eje del rotor, con la finalidad de alargar la longitud del eje y este pueda ser retirado con maniobras con la ayuda de los puentes grúas y tener mucho cuidado de no golpear las bobinas del rotor y estator. (Ver figuras 41, 42)



Figura 41. Maniobras en rotor para su extracción.



Figura 42. Proceso de extracción de rotor.

- Desmontaje del sistema de refrigeración, este sistema llego al taller con un desmontaje inicial realizado por el usuario para poder realizar el transporte al taller de mantenimiento, sin embargo internamente se tienen que desmontar todos sus componentes que en este caso son cuatro motores tipo jaula de ardilla de 10 HP y dos motores tipo jaula de ardilla de 40 HP estos deberán ser desmontados inicialmente de la estructura del sistema de refrigeración retirando la pernería de fijación para posteriormente hacer el desmontaje de los seis motores tipo jaula de ardilla que deberán ser evaluados mecánica y eléctricamente. (Ver figura 43)



Figura 43. Desmontaje de motores ventilador en el sistema de refrigeración.

Una vez desmontado el motor, se procede a redactar el informe mecánico (Anexo B) el cual contiene un resumen de los hallazgos que se encontraron durante el desmontaje así como las mediciones de los ajustes actuales de los componentes mecánicos más críticos del motor esto se realiza con la finalidad de conocer el estado actual en que llegó el motor para poder luego hacer las recomendaciones de acuerdo a las medidas y tolerancias correctas de cada componente (eje, rodamientos) y posteriormente realizar el mantenimiento y acciones correctivas.

A continuación describiremos los hallazgos más importantes que se encontraron en los componentes mecánicos del motor y las recomendaciones para su mantenimiento así como las buenas prácticas a seguir.

5.2.1 MOTOR EN GENERAL

Hallazgo 1. El motor es recibido en el taller y se observó que no llegó con su caja de conexiones correspondiente. (Ver figura 31).

Recomendaciones:

- Solicitar la caja de conexiones para el montaje final e informar al usuario del motor de este hallazgo.

5.2.2 ESTATOR

Hallazgo 2. Al realizar el desmontaje del motor, previamente y durante el retiro del rotor se encontró gran cantidad de polvillo de carbón impregnado en el bobinado del estator y además contaminación con aceite en las cabezas de bobina del estator. (Ver figura 44, 45, 46).



Figura 44. Contaminación de polvillo de carbón en lado libre del estator.



Figura 45. Contaminación de polvillo de carbón en lado acople del estator.



Figura 46. Contaminación con aceite en cabeza de bobina.

Recomendaciones:

- En cuanto al estator se recomienda la limpieza profunda ya que se encuentra con bastante polvillo de carbón y aceite, para esto se recomienda una primera limpieza con aspiradora industrial (Ver Figura. 47) para poder retirar la mayor cantidad de polvillo de carbón como sea posible y posteriormente realizar el lavado con agua a alta presión (Ver Figura. 48) y desengrasante ecológico, para este caso en específico se tuvo que realizar dos veces el lavado debido a la exceso de suciedad polvo y grasa que tenía el estator.



Figura 47. Aspiradora Industrial. (KÄCHER, 2020a)



Figura 48. Hidro-lavadora de alta presión. (KÄCHER, 2020c)

- Una alternativa y dependiendo del grado de contaminación o suciedad (el cual se comprobará mediante la prueba del índice de polarización la cual explicaremos en la evaluación eléctrica) que tenga el estator o rotor, será necesario el uso de

productos específicos como desengrasante ecológico cuando el grado de contaminación sea muy severo y además haciendo uso de la hidro-lavadora de alta presión, posteriormente el estator o rotor debe de ser sometido a un tratamiento térmico por un intervalo de tiempo entre 36 y 48 horas.

- Para el caso de un grado de contaminación leve en el estator - rotor y verificando el índice de polarización es recomendable hacer uso del solvente dieléctrico y posteriormente el estator o rotor debe ser sometido a tratamiento térmico por un intervalo de tiempo entre 12 – 15 horas, el tiempo reducido se debe a que el solvente dieléctrico tiene un menor grado de humedad por lo cual es ideal si se tratase de un servicio de mantenimiento de emergencia en el cual el usuario necesitaría el motor en el menor tiempo posible.
- Otra alternativa es la limpieza criogénica que principalmente se ofrece para servicios de mantenimiento en las instalaciones del cliente y en la cual se dispone de tiempo limitado por parada de planta sea programada o no y cuando no se tiene un motor de reemplazo, este proceso consiste en el uso de una máquina pulverizadora (Ver figura 49) que trabaja haciendo el uso de pellets de hielo seco (CO₂ en estado sólido) la gran ventaja de esta alternativa de limpieza es que reduce drásticamente el tiempo de limpieza y las horas de tratamiento térmico las cuales son horas críticas ya que para poder realizar el montaje del motor es necesario que tanto rotor como estator tengan un aislamiento alto, la gran ventaja de usar el hielo seco es la del bajo grado de humedad que dejan una vez realizada la limpieza ya que el hielo seco entra en un proceso de sublimación (estado sólido a gaseoso) con lo cual se optimiza el tiempo de tratamiento térmico o uso de resistencias de calefacción, el tiempo para el tratamiento térmico realizando la limpieza de estator o rotor con hielo seco se encuentra en un intervalo de 6 – 8 horas.



Figura 49. Equipo de limpieza con hielo seco.(KÄCHER, 2020b)

Hallazgo 3. Al realizar la inspección a las bobinas del estator se encontró la presencia de descargas parciales en las salidas de las ranuras y en la cabeza de bobinas con una mayor severidad entre fases en 24 bobinas. (Ver figuras 50, 51, 52)



Figura 50. Descargas parciales entre fases.



Figura 51. Descargas parciales entre fases.

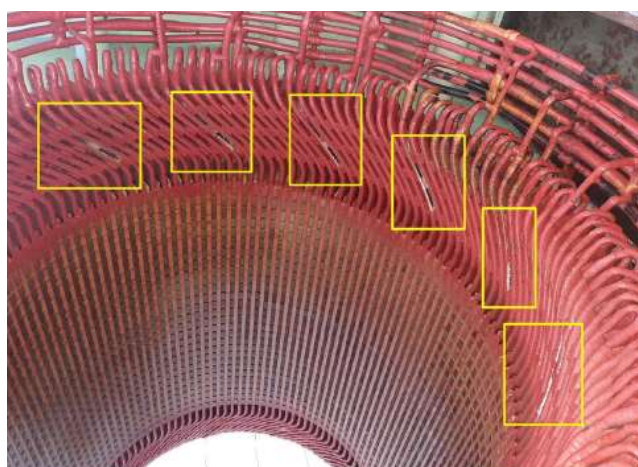


Figura 52. Descargas parciales en cabeza de bobinas de estator.

Recomendaciones:

- Para el caso de las descargas parciales se recomienda la reparación de cada punto donde las bobinas fueron afectadas y donde claramente se ve el desprendimiento de material aislante.
- Limpieza específica de cada punto afectado por descargas parciales.
- Tratamiento térmico.
- Aplicación de resina conductora en los puntos afectados de las bobinas este proceso se tiene que realizar una vez culminado el tratamiento térmico es decir el devanado tiene que tener una temperatura de al menos 80 grados centígrados para poder aplicar esta resina posteriormente se debe de aplicar resina a todo el estator.
- Aplicación de barniz antilflash rojo previo tratamiento térmico del bobinado es decir que se recomienda aplicar el barniz a una temperatura de al menos 60 grados centígrados.
- Es importante realizar la inspección de cuñas de las ranuras del estator y en caso de encontrarse cuñas sueltas realizar la toma de medidas fabricación y cambio de cuñas, el material usado es el vetroferri o vetronite clase H.

Hallazgo 4. Se encontraron los cables de conexionado para energizar el estator en mal estado con evidente descargas eléctricas y desprendimiento del revestimiento aislante.

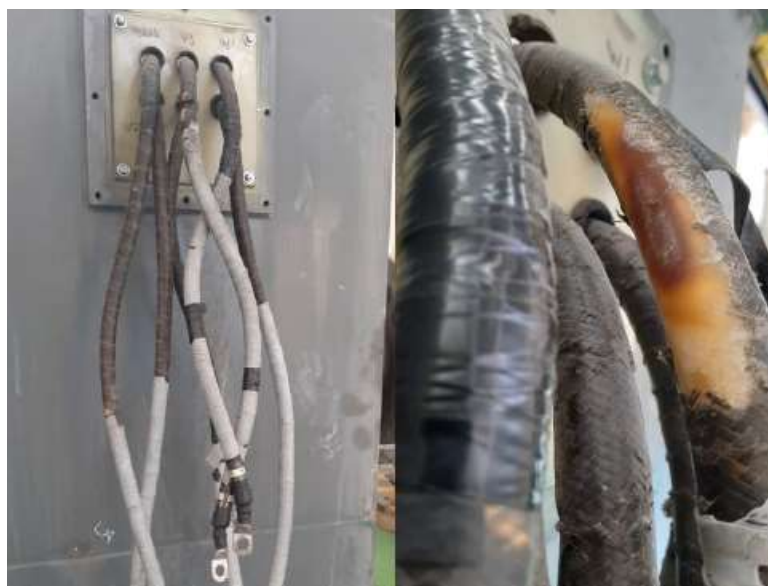


Figura 53. Cables de conexión de estator en mal estado.

Recomendaciones:

- Realizar el retiro de los cables averiados y realizando la desconexión con las bobinas.
- Suministro, cambio, instalación y conexionado de cables con sus respectivos terminales de conexión.

5.2.3 ROTOR

Hallazgo 5. Al realizar el retiro del rotor del estator se pudo observar mucha suciedad y contaminación con polvillo de carbón e incluso con trozos de papel cerca a las bobinas. (Ver figuras 54, 55, 56)



Figura 54. Rotor con presencia de alta contaminación



Figura 55. Rotor con presencia de papel en bobinas.



Figura 56. Rotor con contaminación en partes internas.

Recomendaciones:

- Se deberá de realizar la limpieza profunda del rotor siguiendo el mismo proceso de limpieza que se explicó en el estator haciendo uso de la aspiradora industrial en un inicio y posteriormente realizar el lavado del rotor con desengrasante y agua haciendo uso de la hidro-lavadora a alta presión
- Realizar el tratamiento térmico una vez se haya realizado la limpieza y lavado del rotor por un intervalo de tiempo de 36 a 48 horas.
- Aplicación de resina semiconductor la aplicación de esta resina se debe de realizar cuando el rotor tiene una temperatura de al menos 80 °C una vez culmine su tratamiento térmico.
- Aplicación de barniz antilash rojo a una temperatura del rotor no menor a 60 °C.

5.2.4 EJE (ASIENTO DE CHUMACERA LADO ACOPLE Y LADO LIBRE)

Hallazgo 6. Al realizar la evaluación del eje del rotor se encontró que presenta desgaste en el asiento de chumaceras de lado acople y lado libre. Además, presenta daños por rozamiento en el asiento de laberinto de lado acople (Ver figura 58).

En la revisión del eje se toman medidas de los diámetros de los asientos de chumacera de ambos extremos del eje así como el ajuste que cuentan luego del desmontaje de las chumaceras a continuación se muestran los valores encontrados en los asientos de cada extremo del eje (lado libre y lado acople)

35.- DIAMETRO DE EJE ASIENTO DE		RODAJE	<input type="checkbox"/>	MONTAD.	<input type="checkbox"/>	CHUMAC.	<input checked="" type="checkbox"/>
LADO		+		LADO NO		+	
ACOPLE	250	-	0.375	ACOPLE	225	-	0.290
NESECITA METALIZAR ?		SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	L.A.	<input checked="" type="checkbox"/>
						L.N.A.	<input type="checkbox"/>

De acuerdo a las normas DIN 31698 el ajuste del eje asiento de chumacera lado acople esta fuera de las tolerancias de acuerdo a la norma. (Ver Anexo C)

Para realizar las medidas y toma de ajustes de los asientos de eje y demás zonas del eje en las que se ejerce rozamiento se utilizar un instrumento de medición de precisión como es el micrómetro de exteriores (Ver figura 57)



Figura 57. Micrómetro de exteriores Mitutoyo. (MITUTOYO, n.d.)



Figura 58. Eje asiento laberinto de aceite lado acople presenta rozamiento.

Recomendaciones:

- Realizar el pulido mínimo del asiento de chumaceras de lado acople y lado libre (Considerar que la tolerancia se debe analizar respecto a las chumaceras nuevas a suministrar por parte del cliente y a las tolerancias brindadas por él fabricante, de encontrarse fuera de tolerancia se recomienda rebabitar chumaceras considerando las medidas actuales del eje a fin de evitar el metalizado.)
- Se recomienda realizar el metalizado (temorociado) de eje asiento de laberinto de aceite de lado acople, el proceso de temorociado comprende el uso de una llama para calentar un material, en forma de polvo o alambre hasta un estado de fusión o semifusión y un gas propelente para proyectar el material sobre un sustrato creando una superficie completamente nueva. Al proyectarse, las partículas de material fundido impactan el sustrato, aplastándose y adhiriéndose unas a otras al sustrato, conformando un recubrimiento denso y con una macro dureza generalmente mayor al material original. El material de recubrimiento puede estar

constituido por un elemento simple, una aleación o un compuesto con propiedades físicas únicas, las que, en algunos casos, sólo se pueden alcanzar con un proceso de termorrociado. Los recubrimientos son usualmente metálicos, cerámicos, carburos, o una combinación de estos elementos. Los recubrimientos crean una superficie completamente nueva, mejorando su resistencia al desgaste, a la corrosión, recuperando dimensiones, aportando características especiales a la funcionalidad de la superficie (térmica o eléctrica). La tecnología de termorrociado no altera la estructura metalografía del sustrato. (METCO, n.d.)



Figura 59. Equipos de termorrociado (Metalizado) (METCO, n.d.)

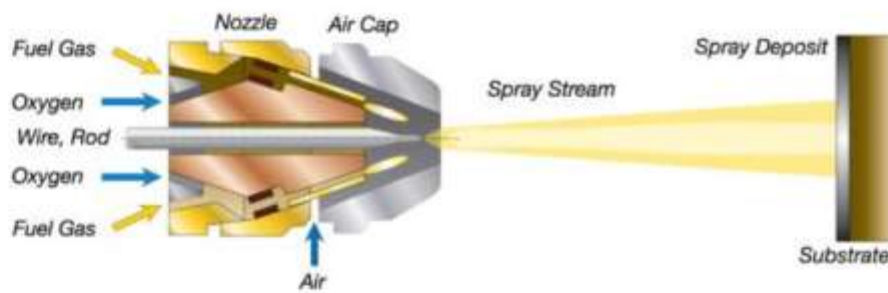


Figura 60. Elementos de aplicación para el proceso de termorrociado. (METCO, n.d.)

5.2.5 ANILLOS ROZANTES.

Hallazgo 7. Al realizar la evaluación mecánica de los anillos rozantes se encontró se encontró polvillo de carbón proveniente de las escobillas, además físicamente los anillos presentan desgaste en la superficie de contacto con las escobillas se encontraron puntos hundidos en el anillos V equidistantes a 180 grados. (Ver foto 61 – 62)



Figura 61. Hendidura en segundo anillo V.



Figura 62. Presencia de dos hendiduras equidistantes a 180 grados.

Recomendaciones:

- Realizar la limpieza de los anillos rozantes eliminando el polvillo de carbón y otros agentes contaminantes inicialmente aplicando aire a presión, posteriormente con solvente dieléctrico y finalmente realizar el tratamiento térmico para eliminar la humedad una vez realizadas todas estas tareas se realizarán las pruebas eléctricas correspondientes que se detallarán más adelante.
- Realizar el rectificado de los anillos rozantes hasta que la hendidura desaparezca es decir al nivel de toda la superficie de cada anillo este rectificado de anillos debe realizarse en un torno de alta precisión para así asegurar que los anillos queden concéntricos para posteriormente las escobillas puedan ejercer un contacto homogéneo en toda la superficie de contacto del anillo.

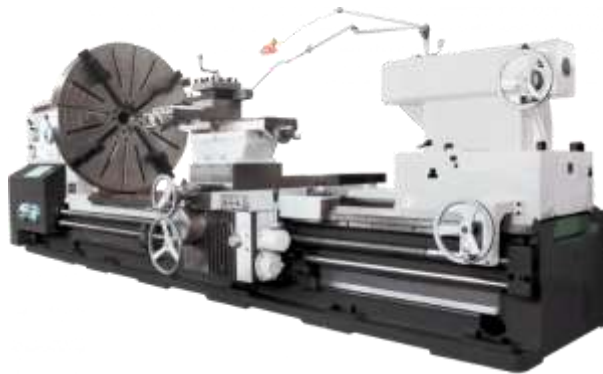


Figura 63. Torno para rectificado de anillos rozantes. (HELLER, n.d.)

5.2.6 SISTEMA PORTA-ESCOBILLAS

Hallazgo 8. El sistema portaescobillas que está comprendido de 6 tubos aislantes, 02 placas aislantes 30 portaescobillas, 30 escobillas y 04 juntas. Se encontraron en mal estado las 02 placas aislantes, 30 escobillas con desgaste significativo y las 04 juntas.

Recomendaciones:

- Se recomienda el cambio de las 02 placas aislantes para posteriormente ser ensambladas en el sistema porta escobillas.
- Se recomienda el cambio de las 04 juntas que presentan desgaste.
- Para los 6 tubos aislantes se recomienda su limpieza y mantenimiento así como el cambio de los pernos de sujeción.
- Mantenimiento de los porta escobillas y el cambio de los 30 resortes de presión constante que ejercen presión en las escobillas.
- Suministro y cambio de 30 escobillas las cuales presentan desgaste. Para poder solicitar al proveedor o fabricante las escobillas o determinar el grado o diseño de las escobillas es necesario adjuntar los datos que se solicitan en el Anexo D para que se tengan las escobillas correctas.

Para un correcto funcionamiento de las escobillas es necesario tener en consideración lo siguiente:

- Realizar el montaje de escobillas las cuales sean del mismo grado, calidad y proveedor esto ayudará a tener un flujo de corriente uniforme.
- Las escobillas deberán de ingresar al cajetín del portaescobilla y deslizarse libremente, no deben de estar demasiado ajustadas o flojas ya que podría generar un atascamiento y posteriormente un problema mayor.
- Se debe de realizar un correcto asentado de las escobillas en los respectivos anillos rozantes el cual puede realizarse con piedras abrasivas teniendo cuidado con las escobillas y los anillos rozantes.
- Es necesario revisar y verificar que los resortes de presión constante que son los que presionan las escobillas a la superficie de contacto del anillo ejerzan una presión constante (verificación con dinamómetro) en todas las escobillas ya que de no ser así se dará el caso de un desigual desgaste de las escobillas.
- La distancia portacarbon – anillos rozante no será mayor a la requerida aproximadamente se recomienda entre una distancia promedio de entre 2 – 3 cm si se excediera de esta distancia puede ocasionar sobre calentamiento por perdidas de corriente.
- Es muy importante la limpieza de los porta escobillas que estén libres de polvo y agentes contaminantes como grasa o aceite.
- Verificación del estado de los anillos rozantes, que se encuentren libres de suciedad, no estén ovalados o presenten surcos o rallones en la pista donde se

genera la conmutación con la escobilla en el caso que presente rallones será necesario el rectificado de anillos.

- Es necesario tener en consideración si el motor será sometido a mayor o menor carga de trabajo ya que esto afecta a la máquina por lo cual se recomienda evaluar el cambio de las escobillas por un grado que pueda soportar este tipo de sobrecargas.
- Es importante que al momento del arranque de la maquina se realice un arranque paulatino ya que una arranque violento puede afectar a los portacarbonos e incluso a los anillos rozantes y generar un problema mayor.
- Es necesario contar con un sistema de ventilación o refrigeración con la finalidad de evitar sobre calentamiento de todo el sistema portaescobillas.

A continuación se muestra un cuadro con las posibles causas de avería una vez se inspeccionan las escobillas y de acuerdo a la superficie de contacto con los anillos rozantes.

Escobilla contacto con anillo	Aspecto Físico	Posibles causas
	Aspecto impecable brillo espejo e inclusive si tuviese superficie ligeramente porosa.	Buenas condiciones de funcionamiento.
	Pista con rayas y surcos.	Funcionamiento en baja carga, polvo ambiental y suciedad de grasa o aceite.
	Zonas quemadas en el canto de entrada o salida.	Dificultades de conmutación, chispeo fuerte ruptura de contacto por fluctuaciones excesivas de voltaje durante el proceso de conmutación.
	Formación de cráteres.	Sobrecarga eléctrica, rupturas de contacto.
	Estrías marcadas en la superficie.	Zonas quemadas causadas por fluctuaciones de voltaje durante el proceso de conmutación.



	Incrustaciones de cobre.	Incrustación de partículas de cobre debido al arrastre del cobre.
	Escobillas rotas.	Estrías sobresalientes, fluctuaciones centrifugas de los anillos, vibración de maquina en reposo o en bajo funcionamiento.

Tabla 3. Cuadro de posibles tipos de fallos en escobillas. (Industrial, n.d.)

5.2.7 CAJAS DE GRASAS (CHUMACERAS)

Hallazgo 9. Una vez desmontadas las cajas de grasa (chumaceras) del eje y luego de realizar la evaluación se encontró que la caja de grasa lado acople es decir el cojinete presenta desprendimiento del babbitt y en aislante del housing. (Figura 64 – 65)



Figura 64. Vista lateral del cojinete lado acople.



Figura 65. Averías en pista interna del cojinete desprendimiento del babbitt.

En la caja de grasa lado libre se puede apreciar el desprendimiento del babbitt en la pista interna del cojinete. (Figura 66)



Figura 66. Cojinete parte superior lado libre con desprendimiento de babbitt.

Las medidas que se encontraron en los cojinetes de las cajas de gras son los siguientes.

38.- DIAMETRO INTERIOR DE LAS CHUMACERAS

LADO	250	+	1.670	LADO NO	225	+	0.010
ACOPLE		-	0,710	ACOPLE		-	0.020
RELLENADO		<input type="checkbox"/>	RECTIFICADO		<input type="checkbox"/>	REBABITADO	
						<input checked="" type="checkbox"/>	

Recomendaciones:

- Para este caso en particular lo que se recomienda es el rebabitado de los cojinetes para ambos cojinetes de las cajas de grasa considerando las medidas de los asientos de eje con la finalidad de mantener la luz diametral dentro de las tolerancias recomendadas por el fabricante o considerando las medidas de las cajas de grasa suministras por el usuario que para este caso en particular el usuario tienen las cajas de grasa en su stock lo cual siempre es recomendable tener en stock los repuestos más críticos para este tipo de motores.

En el supuesto caso de que el usuario del motor no hubiera tenido en stock las cajas de grasa hubiera generado una gran demora en el tiempo de entrega del motor ya que realizar la compra de este tipo de repuestos el tiempo de entrega del repuestos conlleva mucho tiempo lo cual perjudica en la disponibilidad del equipo, en ese caso se tendría que realizar el proceso de rebabitado que es un proceso de recuperación de dimensiones el cual se usa el metal babbitt (aleación en su mayor parte con estaño) o conocido como metal antifricción o metal blanco el cual posee propiedades antifricción antidesgaste y resistencia mecánica ya que tiene una buena capacidad para soportar cargas pesadas y propiedades con elevada resistencia a la corrosión, este material es utilizado para la recuperación de las dimensiones de la pista interna de los cojinetes la cual tiene como propiedad

principal la resistencia a la corrosión este tipo de trabajos normalmente se terceriza con un proveedor especialista en este proceso y comprende lo siguiente:

- ✓ Baño en sales para retirar todo el aceite de la superficie de los cojinetes.
 - ✓ Retirar el babbit averiado para la preparación de la superficie.
 - ✓ Aplicación de estaño y rellenado con material antifricción (Babbitt) de forma centrífuga con la finalidad de garantizar la ausencia de porosidad en la superficie y perfecta adherencia.
 - ✓ Mecanizado de cojinete a las medidas y con los ajustes requeridos.
 - ✓ Prueba de líquidos penetrantes para comprobar la calidad de rebabitado.
- Para llevar un correcto mantenimiento o control de las cajas de grasa se recomienda lo siguiente:
 - ✓ Fijarse en los datos de placa de las cajas de grasa (cojinetes deslizantes) donde se observar el tipo, flujo y cantidad de aceite necesarios para una buena y correcta lubricación de acuerdo al fabricante de las cajas de grasa estas características deben de aplicarse rigurosamente de no ser así podrían originar problemas de sobrecalentamiento y averías en los cojinetes.
 - ✓ Verificación periódica del nivel de aceite y en qué condiciones se encuentra el lubricante.
 - ✓ Verificación de los niveles de vibración y ruido del cojinete, en el caso de contar con sensores de vibración en los cojinetes se podrá tener un mejor control y alarmas programadas en caso superen los niveles de vibración de acuerdo a la norma ISO 10816.
 - ✓ Control de temperatura de los cojinetes durante su funcionamiento, usualmente en las cajas de grasa vienen instalados sensores de temperatura (termo resistencia) de tipo PT100.
 - ✓ Revisión y ajuste de pernos de fijación y montaje de las cajas de grasa.
 - ✓ Limpieza constante de la parte exterior de las cajas de grasa con la finalidad del intercambio de calor, siempre evitar la acumulación de polvo y aceite en la parte externa de las cajas de grasa.
 - ✓ Normalmente este tipo de cojinetes llevan un forro aislante en la superficie esférica del casquillo no se debe de remover este forro.
 - ✓ Para el cambio de aceite, este se puede observar cuando el aceite llegue a la mitad del visor.
 - ✓ En caso de que se suministre un exceso de aceite en las cajas de grasa no será perjudicial para el cojinete sin embargo podrían originarse pérdidas a través de los sellos que posee el eje.
 - ✓ Se recomienda realizar el cambio de aceite de acuerdo a la tabla 4 donde se indica la temperatura de trabajo y el intervalo de tiempo en el cual se recomienda el cambio de aceite de las cajas de grasa.

Temperatura de trabajo de cojinetes	Intervalo de tiempo para cambio de aceite de cojinetes
Por debajo de 75 °C	20000 horas
Entre 75 °C - 80 °C	16000 horas
Entre 80 °C - 85 °C	12000 horas
Entre 85 °C - 90 °C	8000 horas
Entre 90 °C - 95 °C	6000 horas
Entre 95 °C - 100 °C	4000 horas

Tabla 4. Intervalos de temperatura y horas de funcionamiento para cambio de aceite. (WEG, 2016)

5.2.8 SISTEMA DE VENTILACIÓN AIRE - AIRE (DUCTOS DE VENTILACIÓN, MOTORES VENTILADOR)

Hallazgo 9. En cuanto al sistema de ventilación este llevo desmontando del motor sin embargo era necesario y se hizo el desmontaje interno del sistema de ventilación el cual consistía en retirar los cuatro motores de 10 HP y los dos motores de 40 HP estos motores son los encargados de realizar el trabajo de la refrigeración de estator y rotor por la generación de aire y el traslado de este mediante el sistema de tubos que posee. En cuanto al sistema de tubos estos se encontraron con contaminación por polvo. Los motores eléctricos que hacen la función de ventiladores se encontraron con grasa en el bobinado entre otros problemas



Figura 67. Motor de 10 HP de sistema de ventilación con presencia de grasa y contaminación

Recomendaciones:

- Se recomienda la limpieza de ductos de ventilación de todo el sistema de ventilación haciendo uso inicialmente de aire a presión para retirar todo el polvo y agentes contaminantes que puedan estar obstruyendo los ductos posteriormente realizar el cepillado mediante esponjas y agua en el interior de los tubos para hacer una limpieza profunda luego hacer uso de la hidrolavadora y posteriormente aplicar aire a presión para poder retirar la mayor cantidad de agua posible y colocar todo el sistema de ductos en una posición vertical o inclinada para que el agua restante pueda ser evacuada de todo el sistema.
- Mantenimiento y reparación de los seis motores ventiladores tipo jaula de ardilla es muy importante que estos motores reciban el correcto mantenimiento el cual principalmente se basara en la limpieza, cambio de rodamientos entre otras actividades que básicamente se realizan en el mantenimiento estándar a motores de este tipo.
- De ser necesario realizar el cambio de los pernos de sujeción en caso de que estos se encuentren con desgaste principalmente en las roscas de pernos y tuercas.

5.3 EVALUACION ELECTRICA DE MOTOR, RECOMENDACIONES PARA MANTENIMIENTO TECNICAS PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PREDICTIVO.

Una vez realizada la evaluación mecánicas el estator y rotor son trasladados al área de sala de pruebas para poder realizar las pruebas eléctricas y evaluar eléctricamente las condiciones en las que se encuentran el procedimiento de evaluación eléctrica cuenta con una serie de pruebas que se realizan tanto a estator, núcleo de estator, rotor, anillos rozantes, sistema portaescobillas y accesorios como sensores de temperatura, sensores de vibración, resistencias de calefacción entre otros toda esta información debe ser completada en el formato de informe eléctrico (Anexo E) a continuación describiremos a detalles en que consiste toda la evaluación eléctrica y entraremos en detalle en las pruebas que se realizan para poder realizar la evaluación de los componentes eléctricos del motor y además que estas pruebas servirán como indicadores para evaluación ya sean en sitio para plantear un mantenimiento predictivo de acuerdo a los valores que se muestren en dichas pruebas serán de mucha ayuda al momento de indicar cuando será necesario un mantenimiento para este tipo de máquinas. De igual forma seguiremos con la evaluación de motor Teco Westinghouse de 8000 KW.

Todas las pruebas eléctricas estáticas que describiremos a continuación están vinculadas a normas internacionales las cuales se encargan de regular e indicar los parámetros eléctricos mínimos para un eficiente funcionamiento de las máquinas eléctricas.

5.3.1 PRUEBA DE RESISTENCIA ÓHMICA A ESTATOR Y ROTOR.

Una vez el estator y rotor llegan a sala de pruebas se procede a realizar la prueba de resistencia óhmica con la cual nos permite medir la resistencia de fase a fase en el devanado del estator o rotor el indicador de esta prueba es en los valores que nos muestra los cuales tienen que ser iguales o muy similares si se encontrara algún desbalance resistivo alto será un indicador de evaluación el cual permitirá inferir los siguientes casos:

- Si se encontrara desbalances resistivos muy altos indican que durante el funcionamiento del motor el devanado del presentará puntos calientes.
- Se puede inferir que podría haber espiras abiertas entre bobinas en el mismo caso de desbalance resistivo de fase a fase.
- Otra inferencia es que podría darse caso que en un trabajo de rebobinado anterior el número de espiras por bobina no sea el mismo esto podría originar problemas en el motor más adelante y también es una posible causa al desbalance resistivo que se pueda encontrar realizando la prueba de resistencia óhmica.

Para realizar este tipo de prueba es necesario hacer uso de un equipo para medir resistencia óhmica (Micro-ohmímetro) en este caso en el taller de mantenimiento de motores se utiliza la marca AEMC pero existen diversas marcas en el mercado (Ver figura 68)



Figura 68. Micro-ohmímetro AEMC (AEMC, n.d.-b)

Una vez realizadas las conexiones correspondientes fase – fase el equipo calcula los valores fase – fase donde se obtienen los siguientes valores de resistencia óhmica para rotor y estator:

Equipo	MICROHMIMETRO		Código	DM – MS – 01V - 178	
Bobinado	Tamb (°C)	Tbob (°C)	U1 – U2 (Ω)	V1 – V2 (Ω)	W1 – W2 (Ω)
Estator	17	16	0.0575	0.0575	0.0576
Bobinado	Tamb (°C)	Tbob (°C)	K - L (Ω)	L - M (Ω)	M - K (Ω)
Rotor	12	12	0.00565	0.00545	0.00551

Tabla 5. Resistencia Óhmica de estator y rotor.

Como se puede observar los valores obtenidos tanto para el rotor como para el estator son muy similares lo cual indica o se puede concluir que el devanado del estator y rotor no presentan desbalances resistivos altos o que sean significativos para el análisis por lo cual al momento de poner en operación el motor no presentaran puntos calientes. En este caso la prueba de resistencia óhmica ha salido favorable para ambos componentes del motor.

De acuerdo a la norma IEEE 1415 (Guía para mantenimiento de máquinas de inducción pruebas y análisis de fallos) establece que el desbalance resistivo debe de estar entre el 3 – 5% de la resistencia óhmica promedio cualquier valor por encima de esas tolerancias deberá ser motivo de una mayor análisis.

5.3.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) DE ESTATOR Y ROTOR.

Esta prueba es una de las más importantes y determinantes al momento de programar un mantenimiento preventivo y evaluar en qué estado se encuentra el devanado de estator o rotor que durante su funcionamiento a lo largo del tiempo el aislamiento del devanado se debilita por diversos factores como:

- Fatiga eléctrica, la cual se puede originar por sobretensión o caídas de tensión en el funcionamiento del motor.
- Fatiga mecánica, la cual se puede originar en la puesta en marcha y paro del motor y especialmente cuando ambas se realizan con frecuencias, el desequilibrio de máquinas rotativas, golpes contra los cables y las instalaciones.
- Fatiga química, este tipo de fatiga puede darse el uso de aceites, grasa usada en la lubricación de rodamientos que de alguna forma ingresa al estator por un sellado incorrecto o por la lubricación excesiva en los rodamientos, también los vapores corrosivos y el ambiente ácido donde pueda trabajar el motor es un factor que afecta al aislamiento del devanado al igual que el polvo.
- Fatiga por cambios de temperatura la cual tiene una relación con el arranque y parada del motor, la dilatación y contracción de componentes mecánicos afectan a los materiales aislantes del devanado y si el aumento de temperatura es excesivo es un factor importante de degradación de los materiales aislantes.

En los siguientes gráficos se puede apreciar las principales causas de fallo en el funcionamiento de motores eléctricos y además las causas más representativas de contaminación externa que afectan al aislamiento del motor y rotor.



Figura 69. Causas principales de fallo de motores eléctricos. (Group, 2010)

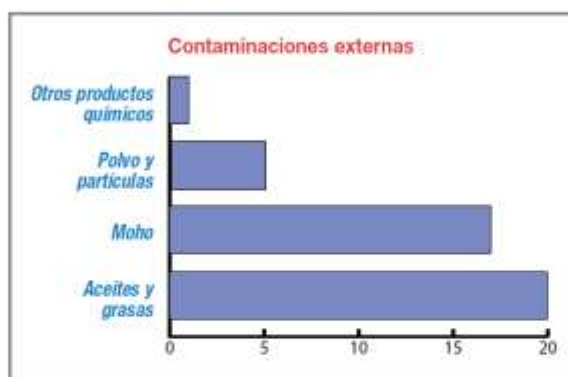


Figura 70. Principales causas de contaminación de aislamiento. (Group, 2010)

La prueba de resistencia de aislamiento se realiza para detectar la presencia de humedad y agentes contaminantes en el devanado del motor o rotor por medio de esta prueba se pueden determinar el índice de polarización (IR) el índice de absorción dieléctrica (IA) el cual nos indica la variación de la resistencia a tierra del aislamiento respecto del tiempo.

Para realizar esta prueba es necesario el uso de un equipo llamado Megóhmetro (Ver figura 71), el cual se encarga de inyectar un voltaje continuo y a continuación medir la corriente en circulación con ambos valores es sencillo calcular el valor de la resistencia para lo cual los resultados que se pueden obtener se pueden dar en $k\Omega$, $M\Omega$, $G\Omega$ y $T\Omega$ este valor viene a representar la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores y nos puede indicar los riesgos por presencia de corrientes de fuga. Esta prueba se realiza de manera puntual durante un corto plazo de tiempo ya sea durante 30 segundos o 1 minuto.



Figura 71. Megóhmetro 6550 AEMC.(AEMC, n.d.-a)

A continuación se detalla en la tabla 5 la tensión de prueba que se debe aplicar en función de las tensiones nominales de máquinas eléctricas, esto de acuerdo a la norma IEEE 43.

TENSIÓN NOMINAL DE DEVANADO (V)	TENSIÓN DC PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (V)
< 1000	500
1001 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12000	2500 - 5000
> 12001	5000 - 10000
Es el voltaje nominal de línea-línea para maquinas trifásicas de AC, tensión de línea-tierra para maquinas monofásicas y voltaje nominal DC para máquinas de corriente continua o devanados de campo.	

Tabla 6. Voltajes de pruebas de resistencia de aislamiento

Una vez obtenido el valor de la resistencia de aislamiento este se tiene que corregir ya que está afectado por factores como la temperatura y la humedad, la temperatura del devanado afecta directamente en el valor del aislamiento por eso es necesario realizar la medida de temperatura del devanado antes de realizar la prueba de resistencia de aislamiento para poder aplicar el factor de corrección en función de la temperatura del devanado, en caso de que la temperatura sea diferente de 40 °C se tendrá que aplicar este factor de corrección.

$$R_{40^{\circ}\text{C}} = K_t \times R_t \quad (3)$$

Se tienen que aplicar la ecuación 3 para poder realizar la corrección del factor de temperatura a 40 °C en función a la temperatura del devanado con el valor obtenido en la resistencia de aislamiento (R_t) y de acuerdo a este valor seleccionar el factor de corrección (K_t) y posteriormente multiplicar ambos valores. En la figura 72 se muestra el coeficiente K EN función de la temperatura de devanada que se debe de seleccionar para poder realizar la corrección del factor de temperatura.

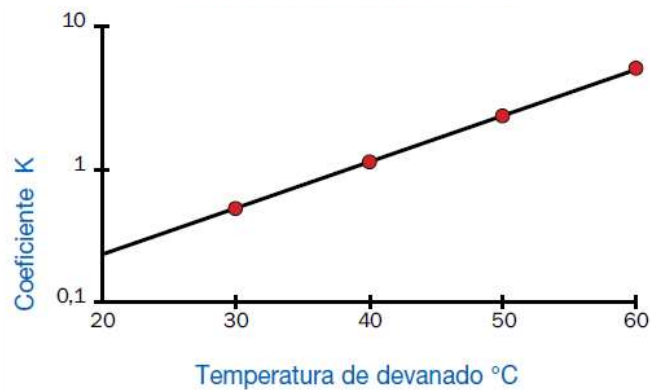


Figura 72. Gráfico de coeficiente K en función de la temperatura del devanado. (Group, 2010)

Una vez se tenga el valor de resistencia de aislamiento a 40 °C se tendrá una medida más confiable para poder evaluar la maquina eléctrica a continuación se muestra en la tabla 6 los valores mínimos recomendados para la evaluación de la resistencia de aislamiento la cual nos ayudara a determinar en qué estado se encuentra el aislamiento del devanado del motor.

VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	TIPO DE MAQUINA
$IR_{1min} = kV + 1$	Para la mayoría de los bobinados fabricados antes de 1970, todos los bobinados de campo y otros no descritos.
$IR_{1min} = 100$	Para la mayoría de armaduras DC y bobinados AC fabricados después de 1970 (pletina)
$IR_{1min} = 5$	Para la mayoría de las maquinas con estatores bobinados de alambre redondo y en pletina con tensiones menores 1 kV.

Tabla 7. Valores mínimos recomendados de resistencia de aislamiento a 40 °C (Todos los valores en MΩ)

Se ha explicado y definido a la prueba de resistencia de aislamiento y las normas bajo las cuales hay que trabajar y tener en cuenta al momento de la evaluación del devanado de motor. En el caso del motor de 8000 KW marca Tecu Westinghouse se realizaron las pruebas de resistencia de aislamiento haciendo uso del Megohmetro, en la tabla 7 se pueden ver los valores de resistencia en (MΩ) tanto para el estator como para el rotor por 1 minuto así mismo se realizar la corrección del factor de temperatura.

Equipo	MEGOHMETRO		Código	DM – MS – 01V - 178		
Bobinado	Voltaje (V)	Tbob (°C)	IR _{1min} (MΩ)	IR _{1min} (MΩ) a 40°C	IA	IP
Estator (U V W – G)	5000	16	3 760	2 702.3	1.6	3.86
Rotor (U/VW - G)	1000	21	12.44	9.62	1.0	1.3

Tabla 8. Valores de resistencia de aislamiento a motor de 8000 KW Tecu Westinghouse

Luego de obtener los valores de resistencia de aislamiento se puede determinar que el estator tiene un valor de aislamiento de 2701.3 MΩ aceptable sin embargo y al ver las fotos del estator en la inspección visual se encontró residuos de aceite en la cabeza de bobina y excesivo polvillo de carbón por lo cual las recomendaciones serian realizar la limpieza, lavado del estator y tratamiento térmico tal y cual se recomendaron en la evaluación mecánica.

En el caso del rotor el valor de resistencia de aislamiento es de 9.62 MΩ por lo cual y de acuerdo a las recomendaciones de la norma IEEE 43 es un valor muy por debajo de lo recomendado, esto se puede deber a la excesiva contaminación con la que se encontró el rotor tal cual se pudo evidencia en la inspección visual en el apartado de evaluación mecánica, en este caso la recomendación es la limpieza lavado y tratamiento térmico del rotor así como las recomendaciones realizadas en el apartado de evaluación mecánica de rotor.

La siguiente grafica muestra el comportamiento de la resistencia de aislamiento de estator y rotor durante los 10 min de prueba, esto debido a que es necesario hacer esta prueba durante el intervalo de tiempo mencionado para poder calcular el índice de polarización e índice de absorción que son pruebas que se realizan con el megohmetro y serán explicadas a continuación.

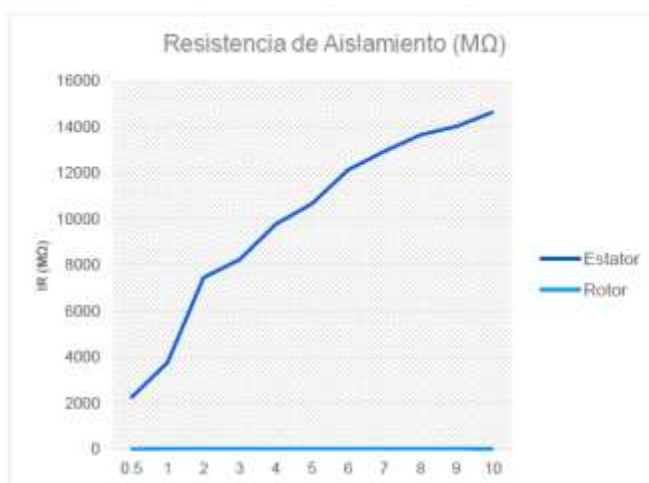


Figura 73. Grafica de valores de resistencia de aislamiento de rotor y estator de 8000 KW durante 10 min.

Adicionalmente será necesario medir el aislamiento de los anillos rozantes los cuales van montados en el eje y revisar en que condición se encuentra el aislamiento de este componente, a continuación podemos ver la medida de resistencia de aislamiento obtenida en los anillos rozantes es de 12.35 MΩ de acuerdo a las norma IEEE 43 es un valor por debajo de la tolerancia mínima esto se debe a que luego de realizar la inspección visual se encontró excesiva cantidad de polvillo de carbón impregnado en los anillos por los cual es uno de los factores que afectan al aislamiento así como la humedad en este caso las recomendaciones serían las mismas que se indicaron en el apartado de evaluación mecánica.

ANILLOS ROZANTES																
R. AISLAMIENTO		con	1000	VDC	Tamb	22	°C	Tanillo	19	°C	Equipo	TR092	Operario	J.Paz	Fecha	30/01/2020
1 - Masa (1')	12.35	MΩ	I.A.		2 - Masa (1')		MΩ	I.A.		3 - Masa (1')		MΩ	I.A.			
1 - 2 (1')		MΩ	I.A.		2 - 3 (1')		MΩ	I.A.		1 - 3 (1')		MΩ	I.A.			

Figura 74. Valor de resistencia de aislamiento de Anillos rozantes de motor de 8000 KW

5.3.3 PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACIÓN (IP) DE ESTATOR Y ROTOR.

El índice de polarización (IP) es una prueba adicional de resistencia de aislamiento que se realiza en el rango de 1 a 10 minutos aplicando el mismo nivel de tensión de la prueba de resistencia de aislamiento descrita anteriormente.

Este valor está definido entre la relación del resultado de la resistencia de aislamiento obtenida al minuto 10 entre el valor de la resistencia de aislamiento en el minuto 1, esta relación es adimensional y permitirá definir la calidad y del aislamiento, para esta prueba no será necesario realizar el uso del factor de corrección de temperatura ya que para este parámetro la temperatura no afecta en el cálculo del índice de polarización.

$$IP = \frac{IR_{min10}}{IR_{min1}} \quad (4)$$

De acuerdo a la norma IEEE 43 para poder evaluar el estado del aislamiento nos recomiendan tener en consideración los siguientes valores IP que se muestran en la siguiente tabla.

VALORES DE INDICE DE POLARIZACION (IP) Y LA CONDICION EN LA QUE SE ENCUENTRA EL AISLAMIENTO	
IP < 1.0	Peligroso
1.0 < IP < 2.0	Cuestionable
2.0 < IP < 4.0	Bueno
IP > 4.0	Excelente

Tabla 9. Valores de índice de polarización y estado de aislamiento.

Siguiendo con la evaluación eléctrica del estator y rotor se ha realizado la toma de datos de resistencia de aislamiento desde los 30 segundos hasta los 10 min que es lo que recomienda la norma realizar y se obtuvieron los datos para el estator y rotor que se describen en la tabla 9.

BOBINADO DEL ESTATOR																			
R. AISLAMIENTO		UVW - G	con	5 000	VDC	Tamb	a 17	°C	Hr (%)	Tbob	16	°C	I.A.	1.6	I.P.	3.86	CAP.	748	nF
30" (MΩ)	1' (MΩ)	2' (MΩ)	3' (MΩ)	4' (MΩ)	5' (MΩ)	6' (MΩ)	7' (MΩ)	8' (MΩ)	9' (MΩ)	10' (MΩ)									
2 250	3 760	7 540	8 240	9 780	10 670	12 120	12 930	13 644	14 020	14 630									
U-V	24 310	MΩ	V-W	28 850	MΩ	U-W	26 520	MΩ	Equipos	TR 092	TR 044		Operario	J.CHILLO	Fecha	29/01/2020			

Tabla 10. Valores de resistencia de aislamiento y cálculo del IP de estator de 8000 KW.

Luego de analizar los datos obtenidos de la resistencia de aislamiento durante los 10 min tenemos un resultado de IP de 3.86 lo cual nos indica que la condición del aislamiento es buena de acuerdo a las recomendaciones de la norma IEEE 43.

Para el caso del rotor los datos obtenidos de la resistencia de aislamiento durante los 10 min los cuales se pueden apreciar en la tabla 10 no dan como resultado un IP de 1.3 lo cual nos indica que la condición del aislamiento es cuestionable esto se debe a la excesiva cantidad de polvillo de carbón y residuos de aceite encontrados en los devanados del rotor, en este caso se deben de realizar las recomendaciones de limpieza, lavado tratamiento térmico y aplicación de resina las cuales fueron descritas en el apartado de recomendaciones de evaluación mecánica de rotor durante la inspección visual, las cuales en resumen serian la limpieza, lavado, tratamiento térmico y aplicación de resina aislante y además el rectificado de los anillos rozantes.

BOBINADO DEL ROTOR											
R. AISLAMIENTO				UVW - G		con	1000	VDC	Tamb	21	°C Hr (%)
									Tbob	21	°C
									I.A.	1	I.P.
										1.3	CAP.
										191.3	nF
30" (MΩ)	1' (MΩ)	2' (MΩ)	3' (MΩ)	4' (MΩ)	5' (MΩ)	6' (MΩ)	7' (MΩ)	8' (MΩ)	9' (MΩ)	10' (MΩ)	
12.35	12.44	12.69	12.82	12.96	13.31	13.55	14.04	14.63	15.28	16.69	
U-V	-	MΩ V-W	-	MΩ U-W	-	MΩ	Equipos	TR091	TR052	Operario	J.CHILLO
									Fecha	30/01/2020	

Tabla 11. Valores de resistencia de aislamiento y cálculo del IP de rotor de 8000 KW

5.3.4 PRUEBA DE INDICE DE ABSORCIÓN (IA) DE ESTATOR Y ROTOR.

Luego de realizar la prueba de resistencia de aislamiento durante los 10 min y con los datos obtenidos nos servirán para el cálculo del índice de polarización (IP) y además para calcular el índice de absorción (IA) o (DAR) sus siglas en inglés dielectric absorption rate, la cual es la relación entre el valor de resistencia de aislamiento a los 60 segundos entre el valor de la resistencia de aislamiento a los 30 segundos. El índice de absorción nos indica el hay presencia de humedad en el devanado, y al igual que el índice de polarización para esta prueba no será necesario aplicar el factor de corrección de temperatura ya que esta no afecta en el cálculo del índice de absorción.

$$IA = \frac{IR_{seg60}}{IR_{seg30}} \quad (5)$$

Para poder evaluar la condición del aislamiento es necesario revisar las recomendaciones que nos da la norma IEEE 43 de acuerdo a los valores que se puedan obtener del IA de acuerdo a la tabla 11.

VALOR DEL IA	CONDICIÓN DEL AISLAMIENTO
0 < IA < 1	Peligroso
1 < IA < 1.3	Deficiente
1.3 < IA < 1.6	Bueno
IA > 1.6	Excelente

Tabla 12. Valores de índice de absorción y condición de aislamiento.

Continuando con la evaluación eléctrica del estator y rotor, para la prueba de índice de absorción nos tenemos que fijar en las tablas 9 y 10 en donde se encuentran los valores de resistencia de aislamiento a los 60 y 30 segundo que son los datos que nos interesan para realizar el cálculo del IA.

Para el caso del estator se ha calculado un IA de 1.6 el cual nos indica una buena condición del aislamiento. Sin embargo para el rotor el cálculo del IA es de 1 lo que nos indica que la condición del aislamiento es deficiente, esto comprueba la inspección visual realizada al rotor que en el apartado de evaluación mecánica se puede observar que el rotor presenta excesivo polvillo de carbón en sus bobinas así como residuos de aceite y el dato más importante indica un nivel de humedad alto en cuanto a esto las recomendaciones serán las mismas que se hicieron en el apartado mecánico del rotor que para su devanado es necesario la limpieza, lavado, tratamiento térmico y aplicación de resina con la finalidad que el aislamiento pueda subir y por lo tanto los valores de IP e IA sean satisfactorios pero eso lo veremos más adelante luego de realizar el mantenimiento se tendrán que repetir las pruebas estáticas descritas anteriormente para ver el cambio del inicio y posterior a las reparaciones y mantenimiento realizado tanto en estator rotor y otros componentes.

5.3.5 PRUEBA DE IMPEDANCIA Z DE ESTATOR Y ROTOR.

La impedancia Z es una prueba en la cual se le aplica tensión a las salidas de las bobinas y en la cual se mide corriente y voltaje, para que la prueba sea satisfactoria se comprueba que el nivel de corriente y tensión tengan los mismos valores en cada fase en el devanado de estator y rotor.

Para el caso que estamos analizando y de acuerdo a la tabla 13 podemos apreciar que los valores por fase de voltaje y corriente son igual, para el caso del rotor podemos ver que sus valores de voltaje y corriente tienen los mismos valores por cada fase con lo que podemos concluir que la prueba de impedancia Z resultó satisfactoria.

Equipo	DM – MS – 01V - 178		Equipo	DM – MS – 01V - 178		Equipo	DM – MS – 01V - 178	
Estator								
Voltaje (V)			Corriente (A)			Frecuencia		
1524	1524	1524	222	222	222	60 Hz		
Rotor								
Voltaje (V)			Corriente (A)			Frecuencia		
98	98	98	250	250	250	60		

Tabla 13. Impedancia Z de estator y rotor de motor de 8000 KW.

5.3.6 PRUEBA DE RESISTENCIA ÓHMICA A SENSORES DE TEMPERATURA PT-100 Y RESISTENCIAS DE CALEFACCION.

Es importante que el devanado del motor este monitoreado de forma constante durante su funcionamiento, en este caso los sensores de temperatura o termo resistencia (RTD) del tipo PT-100 son los que comúnmente se usan en el devanado del motor y los cuales van instalados en las ranuras del núcleo del estator, normalmente se usan sensores tipo regleta ver figura 75, estos sensores nos permitirán saber el incremento de temperatura por medio de su valor de resistencia óhmica ya que a 0 grados tienen una resistencia de 100Ω y a medida que la temperatura se incremente el valor de lectura de resistencia óhmica se incrementará y podrá calcularse la temperatura a la que se encuentra el devanado y si está dentro de los límites permisibles, por parte del usuario del motor y a través de un sistema de monitoreo externo podrá monitorear los cambios de temperatura y enviar las alertas en caso la temperatura este excediendo los límites de acuerdo a la clase de aislamiento que tenga el devanado que más adelante veremos la importancia que tiene la medición de temperatura al momento del funcionamiento del motor o en las pruebas finales en vacío que se realizaran al motor de 8000 KW que estamos analizando. Para poder ver los valores de temperatura y su equivalente en resistencia óhmica revisar el anexo F y adicionalmente se puede utilizar la siguiente fórmula para hallar la temperatura donde R es la resistencia medida.

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{R - 100}{0.386} \quad (6)$$



Figura 75. Sensor RTD Tipo PT-100 para devanado de estator.

En cuanto a los límites de temperatura para devanados estos dependerán de la clase de aislamiento que se le aplique al devanado del motor y a las recomendaciones del fabricante en la tabla 14 se puede ver las diferentes temperaturas máximas permisibles de acuerdo a la clase de aislamiento y la temperatura a la cual se recomienda que el sistema de alarma debe de encender y la temperatura en que se debe de apagar el motor para que no ocurra daños más severos, los valores de temperatura de apagado no deben de exceder las temperaturas máximas de acuerdo a la clase de aislamiento del devanado, la temperatura de alarma puede ser ajustada 10 °C más por encima de la temperatura de operación del motor a plena carga y teniendo en cuenta la mayor temperatura ambiente local.

CLASE DE AISLAMIENTO	TEMPERATURA MAXIMA
E	120 °C
B	130 °C
F	155 °C
H	180 °C
C	> 180 °C

Tabla 14. Clases de aislamiento.

CLASE DE AISLAMIENTO	TEMPERATURA DE ALARMA	TEMPERATURA DE APAGADO DE MOTOR
Devanado clase B	120 °C	130 °C
Devanado clase F	130 °C	155 °C
Devanado clase H	155 °C	180 °C
Cojinetes	110 °C	120 °C

Tabla 15. Temperatura de alarma y apagado de sensores PT100 de devanado de motor y cojinetes

Para el caso de los rodamientos es muy importante monitorear la temperatura de trabajo de estos componentes ya sean cajas de grasa o rodamientos el tipo de sensor más utilizado es el RTD PT-100 en este caso el modelo o diseño del sensor cambia de acuerdo a donde van montados ya sean en la caja de grasa con en la tapa del motor ver figura 76, sin embargo las propiedades son las mismas por ser el mismo tipo de sensor de temperatura usado en el devanado del motor por lo cual también se podrá realizar el monitoreo externo y recibir alertas en caso la resistencia óhmica aumente y calcular cual es la temperatura de trabajo y prevenir una falla futura.



Figura 76. Sensor de temperatura RTD PT-100 para rodamientos o cajas de grasas.

Otro accesorio que es muy importante y la mayoría de motores de gran potencia y media tensión utilizan son las resistencias de calefacción (ver figura 77) las cuales impedirán la condensación de agua durante periodos donde el motor no esté en operación y así impedirá el ingreso de humedad en los devanados y en la zona del sistema porta-escobillas o donde estén instaladas., es importante que una vez se apague el motor las resistencias de calefacción deben de ser encendidas inmediatamente.



Figura 77. Resistencia de calefacción.

Retomando la evaluación de los accesorios del motor de 8000 KW como sensores y resistencias de calefacción, al momento de la evaluación eléctrica es necesario que se compruebe el estado de estos accesorios los cuales se realizan mediante el uso y tomando medidas de resistencia óhmica de un multímetro digital (ver figura 78) con la finalidad de comprobar que los sensores y resistencias de calefacción estén en buen estado.



Figura 78. Multímetro Fluke 87V. (FLUKE, 2020)

A continuación se muestran los valores tomados de los sensores de RTD PT-100 del devanado de estator y de las cajas de grasa lado acople y lado libre así como las resistencias de calefacción por lo cual podemos concluir lo siguiente:

Sensores de temperatura de devanado de estator tipo regleta (RTD) PT-100.- Se han encontrado 6 de estos sensores de los cuales todos están en buen estado de acuerdo a su medida de resistencia óhmica la cual y de acuerdo a la temperatura en que se mide tienen un valor similar a las resistencias encontradas en el Anexo F. Además se encuentran 3 sensores de temperatura adicionales en la carcasa de motor los cuales también se encuentran en buen estado.

Sensores de temperatura de cajas de grasa (RTD) PT-100.- Se han encontrado 2 sensores de estos sensores los cuales van instalados en cada una de las cajas de grasas, de acuerdo a las mediciones realizadas los valores encontrados son óptimos y podemos concluir que los sensores están en buen estado sin embargo físicamente están dañados por lo cual se recomienda el cambio de los dos sensores.

Resistencias de calefacción.- Se encontraron 6 resistencias de calefacción en total 5 de estas están instaladas en la carcasa del motor base de estator y la otra resistencia se encuentra en la tapa del motor del lado libre donde se encuentra el sistema porta escobillas, de acuerdo a las mediciones realizadas las resistencias se encuentran con un valor de resistencia que permite concluir que están en buen estado sin embargo los daños físicos que tienen hacen que se recomiende el cambio además que ya llevan de acuerdo al historial nunca se cambiaron anteriormente y por tema de fiabilidad se recomienda su reemplazo.

Equipo	MULTIMETRO		Código	DM – MS – 01V - 178	
Sensores de Temperatura					
Terminales	(Ω)	Ubicación	Terminales	(Ω)	Ubicación
1R1 – 1R2	107.1	Fase U	1R1 – 1R2	107.6	Fase U
1R1 – 1R2	106.8	Fase V	1R1 – 1R2	106.8	Fase V
1R1 – 1R2	107.3	Fase W	1R1 – 1R2	106.9	Fase W
	106.5	Chumacera LA		106.5	Chumacera LNA
Resistencia de Calefacción					
Terminales	(Ω)	Ubicación	Terminales	(Ω)	Ubicación
1R1 – 1R2	14.3	Carcasa	1R1 – 1R2	108.6	Tapa

Tabla 16. Valores de resistencia de sensores y resistencias de calefacción.

5.3.7 PRUEBA DE NUCLEO MAGNETICO.

El núcleo magnético es un componente del estator en el cual los devanados van alojados en las ranuras del núcleo, este núcleo es conformado por una serie de laminaciones en material hierro silicoso las cuales se traslapan para formar un cilindro y las cuales son selladas con resina y soldadura, durante el tiempo de funcionamiento del motor y a medida que este tienen más intervenciones es muy importante revisar cual es el estado del núcleo esta prueba permitirá detectar fallas de interlaminación del núcleo del estator las cuales pueden causar sobrecalentamiento y daños en el motor.

Esta prueba consiste en inducir un flujo magnético en el núcleo magnético por medio de una bobina toroidal la cual gracias a la corriente que se induce dentro de las láminas, estimulan pérdidas y generan calor. El procedimiento de esta prueba es que previamente hay que definir el número de vueltas que tendrá la bobina toroidal y la corriente que se le aplicara ambos factores definirán el flujo magnético que se aplicara al núcleo del estator el cual debe de ser similar al flujo magnético de operación, durante la prueba lo que se analiza la detección de puntos calientes dentro del núcleo los cuales son los que van a generar pérdida de aislamiento entre laminas y lo cual va generar corrientes circulantes en la sección dañada.



Figura 79. Prueba de núcleo magnético.

Durante la prueba se debe de monitorear la temperatura en todo momento y en el caso de tener un núcleo sin daños pues la temperatura será uniforme en todo el núcleo, caso contrario de tener un núcleo magnético con puntos calientes la temperatura podría incrementarse y alcanzar fácilmente temperaturas mayores de 100 °C en la zona averiada, para poder tener una mejor visión y realizar un análisis de estos puntos calientes lo recomendable es hacer uso de la cámara termográfica. Esta prueba en el taller de mantenimiento se utiliza para todos los estatores y para comprobar el estado del núcleo magnético cuando este ha sido reparado y pueda seguir el proceso de montaje de bobinas.



Figura 80. Cámara termográfica Fluke. (FLUKE, n.d.)

Para el caso del núcleo del estator del motor de 8000 KW que estamos evaluando la temperatura máxima que alcanzo esta prueba es de 21.5 °C lo cual indica que el núcleo está en perfecto estado (Ver tabla 16)

Equipo	DM – MS – 01V - 178	Equipo	DM – MS – 01V - 178
Voltaje	532	Corriente	201
Tiempo (min)	15	T _{amb} (°C)	17
T _{normal} (°C)	20	T _{máxima} (°C)	21.5

Tabla 17. Valores de temperatura de prueba de núcleo magnético.

Las pruebas estáticas que hemos descrito anteriormente son las técnicas que se utilizan para la evaluación eléctrica del motor, posteriormente y luego del mantenimiento o reparación estas pruebas se van a volver a realizar para comprobar y contrastar los resultados después del mantenimiento y se podrá apreciar la diferencia en cuanto a los valores de medición en la cual las pruebas no salieron satisfactorias estas pruebas las mencionaremos en el apartado de pruebas finales estáticas las cuales son necesarias para posteriormente realizar el montaje y arranque de motor para poder realizar las pruebas dinámicas finales en vacío. Lo que a continuación sigue es aplicar las recomendaciones que se hicieron en los apartados mecánicos y eléctricos en algunos casos eran los suministros y cambio de algunos componentes y además el mantenimiento de los componentes por suciedad y averías físicas las cuales se originaron durante el funcionamiento de la maquina en las instalaciones del cliente.

5.4 MANTENIMIENTO, MONTAJE Y PRUEBAS ELÉCTRICAS FINALES

En los puntos anteriores se ha podido ver y revisar las diversas técnicas y pruebas por las cuales el motor tiene que pasar para poder hacer una correcta evaluación y en base a los resultados poder realizar las recomendaciones mencionadas anteriormente lo que procede en este caso es realizar estas recomendaciones para mejorar las condiciones mecánicas y eléctricas del motor para posteriormente realizar el montaje.

A continuación se va a detallar el procedimiento de montaje del motor después del mantenimiento que se realizó de acuerdo a las recomendaciones descritas previamente.

Es importante que previo al montaje del motor todos los componentes del motor estén listos para su montaje es decir que se hayan realizado todos los mantenimientos y reparaciones hayan sido realizados y que los componentes y accesorios estén completos para no interrumpir el flujo del montaje y se generen tiempos de espera:

5.4.1 MONTAJE DE MOTOR

- Mediante el uso del puente grúa trasladar el estator a la zona de montaje dentro del taller hacer las revisiones pertinentes tanto mecánicas y eléctricas las cuales deben estar correctamente escritas en la tarjeta de liberación en la cual van anotadas las actividades que se realizaron con la finalidad de darle seguimiento.



Figura 81. Estator después de la reparación.

- Realizar la instalación de las resistencias de calefacción que van instaladas en el estator y asegurar su conexionado.
- Haciendo uso del puente grúa y realizando las maniobras de izaje necesarias realizar el montaje del rotor dentro del estator (ver figura 82), el rotor debe de estar con el mantenimiento completo de acuerdo a las recomendaciones descritas en el apartado 5.2.3.



Figura 82. Montaje de rotor.

- Montaje de las tapas o cubiertas laterales de motor las cuales deberán fijarse en la carcasa del estator haciendo uso de pernos de fijaciones haciendo uso de un torquímetro para darle el ajuste adecuado para ambos lados del motor. El montaje de estas tapas se deberá de realizar con mucho cuidado realizando las maniobras con el puente grúa del taller.
- Realizar el montaje de los postes porta escobillas los cuales deben ser fijados a la carcasa del estator.



Figura 83. Montaje de postes portaescobillas.

- Realizar el montaje de todo el sistema porta escobillas para lo cual se tendrá que montar los cajetines donde van alojados las escobillas y verificando la presión de los resortes de presión constante sobre las escobillas y la superficie de los anillos una vez realizado la instalaciones se procederá a realizar el asentamiento de las escobillas aplicando una presión uniforme sobre la superficie de contacto del anillo con la finalidad que la corriente se distribuya de forma uniforme y para evitar un

desgaste excesivo de las escobillas este asentado podrá realizarse haciendo uso de piedras abrasivas o de un papel lija muy fino de pendiendo del tipo de escobillas, es muy importante que todas las escobillas montadas tengan la misma presión de contacto o como máximo una tolerancia de 10% ya que un mayor exceso generaran los problemas previamente mencionados, este control de presión se lleva a cabo haciendo uso de un dinamómetro.

- Instalación de la resistencia de calefacción que servirá para evitar la humedad cuando el motor no esté en operación dentro del compartimiento del sistema portaescobillas.
- Una vez instalado todo el sistema portaesbillas se procede a realizar el montaje del compartimiento protector del sistema portaescobillas el cual ira fijado a la carcasa del motor se tiene que aplicar un buen ajuste de las tuercas de fijación.
- Posterior al montaje del compartimiento se realiza la el montaje del ventilador en el eje previamente este ventilador que girara a la misma velocidad del eje y cumplirá la función de refrigeración de los anillos rozantes dentro del compartimiento donde van protegidos.
- Montaje de las cajas de grasa que consiste en lo siguiente:
 - ✓ Verificación de medidas del eje es decir que se cumplan las tolerancias y rugosidad de la superficie especificadas por el fabricante.

Equipo	DM – MS – 01V - 178	Equipo	DM – MS – 01V - 178
Punto de Medición	Lado Acople (mm)	Lado no Acople (mm)	
ϕ Chumacera	250 + 1.67 /+ 0.71	225 + 0.010 / - 0.020	
ϕ Eje	250 – 0.375	225 – 0.290	
Luz Diametral	2.045	0.300	

Tabla 18. Medidas y tolerancias finales de eje y cojinetes.

- ✓ Una vez realizado la inspección de la carcasa y casquillos de la caja de grasa levantar el eje algunos milímetros con ayuda del puente grúa y encajar la brida de la mitad inferior del cojinete y atornillarlo en el rebaje de la tapa de la máquina.
- ✓ Aplicar aceite en el asiento esférico de la carcas y en el eje, colocar el casquillo inferior y deslizarlo cuidadosamente hacia su posición una vez alineados el casquillo y la carcasa se debe de bajar cuidadosamente el eje una vez se encuentre en su posición de trabajo aplicar golpes leves con un martillo de goma con la finalidad que es casquillo se posicione al asiento y al eje para que puedan alinearse correctamente.
- ✓ Instalación del anillo de lubricación el cual es muy importante y se debe de realizar cuidadosamente ya que de este componente dependerá la lubricación del cojinete.

- ✓ Montaje del casquillo superior alineando sus marcaciones con las correspondientes en la mitad inferior los casquillos poseen marcas para poder ser alineados correctamente.
- ✓ Verificar que el anillo de lubricación gire libremente sobre el eje, posteriormente con la parte inferior del casquillo de debe de instalar el sello del lado que posee brida del cojinete.
- ✓ Aplicar un sellador Curil T en ambas caras de la carcasa de la caja de grasa montar la parte superior teniendo cuidado que los sellos estén perfectamente ajustados en sus encajes.



Figura 84. Montaje de caja de grasa lado acople.

- ✓ Finalmente la instalación de la termoresistencia PT100 en el cojinete aplicando el ajuste necesario en la tuerca, la parte más extrema del sensor tiene que estar apoyada en la superficie del cojinete.



Figura 85. Montaje de caja de grasa lado libre.

- Realizar el montaje de la cubierta que va montada en la parte superior de la caja de grasa la cual tiene que ir fijada a la tapa del motor por medio de pernos de fijación aplicar el torque necesario en los pernos.
- Por otro lado una el sistema de enfriamiento de motor aire – aire una vez listo el mantenimiento de los ductos y de los 6 motores de jaula de ardilla que cumplen la función de generar aire el cual se trasladara por los ductos hacia el estator. Los

motores tipo jaula de ardilla tienen que ir montados en su bases donde inicialmente fueron montados así mismo se tiene que dejar las conexiones listas al momento de las pruebas finales.

- Una vez se tengan montados los motores el sistema de enfriamiento estará listo para ser montado en la parte superior de la carcasa del estator y con la ayuda del puente grúa se realizaran las maniobras necesarias para fijar el sistema de enfriamiento aire – aire con la finalidad de realizar las pruebas en vacío en conjunto con todo el motor.
- Realizar el suministro de aceite a las cajas de grasa únicamente para realizar las pruebas en vacío, el aceite que se va a suministrar en este caso es el MOBIL TDE 26 que es el recomendado por el fabricante de las cajas de grasa es muy importante usar el mismo aceite que indica el fabricante, una vez realizadas las pruebas dinámicas en vacío este aceite tendrá que drenarse para su traslado a las instalaciones del cliente y se tendrá que colocar un letrero que indique suministrar aceite al momento de la puesta en servicio del motor esto es muy importante para que en planta el personal técnico tenga claro que es necesario realizar dicha tarea.
- Una vez culminadas las pruebas dinámicas en vacío siendo estas satisfactorias se procede al desmontaje del sistema de enfriamiento aire – aire para luego pasara al área de pintura y proceder al pintado de la carcasa y motores.
- Pintado del motor y preparación de embalaje y protección para su transporte a las instalaciones del cliente.



Figura 86. Motor después de pintura



Figura 87. Motor listo para transporte y entrega.

5.4.2 PRUEBAS ELÉCTRICAS ESTÁTICAS FINALES.

Una vez se terminado el montaje del motor se tienen que realizar el traslado hacia el área de sala de pruebas para poder realizar las pruebas estáticas finales estas son las pruebas eléctricas que son necesarias realizar ya que se necesita comprobar que el mantenimiento realizado a estator, rotor, anillos rozantes y suministro de accesorios estén en perfecto estado y los valores de las pruebas eléctricas estén dentro del rango de tolerancia que indica la norma, estas pruebas pueden realizarse antes del montaje del rotor y son las mismas pruebas que se hicieron en la etapa de evaluación eléctrica.

- **Prueba de resistencia óhmica.-** Luego de realizar el mantenimiento se tienen que comprobar que los valores de resistencia óhmica son óptimos, en los ensayos de evaluación de estator y rotor los valores que se obtuvieron fueron favorables, durante estas pruebas luego del mantenimiento no se encontraron desbalances resistivos fase – fase por lo cual podemos concluir que estas pruebas fueron satisfactorias y reconfirmamos las primer prueba de evaluación.

Equipo	MICROHMIMETRO		Código	DM – MS – 1C – 003	
Bobinado	Tamb (°C)	Tbob (°C)	U – V (Ω)	V – W (Ω)	U – W (Ω)
Estator (U-V-W)	18.7	18.3	0.115	0.115	0.115
Rotor (U-V)	14.3	17.0	0.0053	0.0053	0.0052

Tabla 19. Valores de resistencia óhmica después del mantenimiento de estator y rotor.



Figura 88. Prueba de resistencia óhmica.

- **Prueba de resistencia de aislamiento (IR), índice de polarización (IP), índice de absorción (IA) o (DAR).-**

En la etapa de evaluación se realizó la prueba de resistencia de aislamiento (IR) a estator dándonos como resultado un valor de 2702.3 MΩ, además del cálculo del IP : 3.86 y IA : 1.6 si bien estos valores de acuerdo a la norma IEEE 43 son valores óptimos si comparamos con los valores obtenidos luego de realizar el mantenimiento al estator (ver tabla 18) podemos apreciar claramente el incremento de la resistencia de aislamiento el IP, IA debido que al realizar la limpieza, lavado, tratamiento térmico y aplicación de resina se ha podido eliminar los agentes contaminantes que afectan al aislamiento del devanado así como la humedad con estos nuevos valores podemos concluir que es muy importante que luego del mantenimiento los niveles o valores de resistencia de aislamiento deben de ser altos para un correcto funcionamiento de la máquina y para una mayor fiabilidad al momento de su puesta en marcha.

Equipo	MEGOHMETRO	Código	DM – MSA – 01V – 91		
Bobinado	Voltaje (V)	Tbob (°C)	IR _{1min} (MΩ)	IA	IP
Estator (U V W – G)	5 000	15.0	6 300	1.77	4.92

Tabla 20. Valores de resistencia de aislamiento, IP, IA de estator después del mantenimiento.



Figura 89. Grafica de resistencia de aislamiento de estator durante 10 min después del mantenimiento.

Para el caso del rotor es una situación diferente ya que inicialmente la evaluación que se realizó indicó contaminación en el devanado y presencia de humedad, los valores obtenidos de resistencia de aislamiento (IR) al minuto fueron de 9.62 MΩ, IP: 1.3 IA: 1.0 por lo cual todos estos valores no cumplen con los valores mínimos de acuerdo a la norma IEEE 43 sin embargo luego del mantenimiento realizado al rotor y las recomendaciones los valores de resistencia de aislamiento se elevaron considerablemente (ver tabla 19) por lo cual concluimos y confirmamos la importancia de este tipo de pruebas ya que es importante realizar cada cierto tiempo estas pruebas para ver las condiciones del devanado a medida que pase el tiempo es importante llevar un registro de estos valores para poder ver el comportamiento del aislamiento con la finalidad de poder programar un mantenimiento preventivo.

Equipo	MEGOHMETRO	Código	DM – MSA – 01V – 91		
Bobinado	Voltaje (V)	Tbob (°C)	IR _{1min} (MΩ)	IA	IP
Rotor – GND	2 500	19.1	5 230	1.98	5.56

Tabla 21. Valores de resistencia de aislamiento, IP, IA de rotor después del mantenimiento



Figura 90. Grafica de resistencia de aislamiento de rotor durante 10 min después del mantenimiento.



Figura 91. Prueba de resistencia de aislamiento, IP, IA.

- **Prueba de resistencia óhmica de sensores de temperatura y resistencia de calefacción.-**

En estas pruebas básicamente es comprobar el estado actual de los sensores en el caso del estator después del mantenimiento recordemos que muchos de estos sensores se encontraban en buen estado es decir con lecturas de resistencia óhmica optimas y para los casos que se recomendaron hace el cambio de sensores de temperatura de las cajas de grasa así como el cambio de las 6 resistencias de calefacción es importante que una vez el proveedor entregue estos componentes realizarle las pruebas de resistencia óhmica para confirmar el buen estado de los sensores.

Equipo	MULTIMETRO	Código	DM – MS – 01V – 093
Sensores de Temperatura			
Terminales	(Ω)	Ubicación	
1A - 1B	106.5	Bobinado	
2A - 2B	106.5	Bobinado	
3A - 3B	106.1	Bobinado	
4A - 4B	106.4	Bobinado	
5A - 5B	106.2	Bobinado	
6A - 6B	106.0	Bobinado	
1A – 1B	108.6	Carcasa	
2A – 2B	108.5	Carcasa	
3A – 3B	108.3	Carcasa	
1A – 1B	107.5	Chumacera L. Acople	
2A – 2B	107.2	Chumacera L.N. Acople	
Resistencia de Calefacción			
Terminales	(Ω)	Ubicación	
H1 – H2	20.0	Carcasa de estator	
H1 – H2	114.3	Porta escobillas	

Tabla 22. Valores de resistencia óhmica de sensores de temperatura y resistencias de calefacción.

OTRAS PRUEBAS ESTÁTICAS

- **Prueba de alto potencial DC (HIPOT)**

Esta prueba de alto voltaje se caracteriza por revelar las debilidades del aislamiento o las posibles fallas que no hayan podido ser detectadas en las pruebas de resistencia de aislamiento y en el índice de polarización, esta prueba además de medir la resistencia de aislamiento a tierra de forma general, proporciona información de la fuerza dieléctrica del aislamiento por lo cual puede detectar debilidades en el aislamiento lo que representaría una potencial falla a tierra en caso de que la maquina

este expuesta a cargas transitorias de alto voltaje las cuales podrían darse en el entorno minero industrial donde comúnmente este tipo de máquinas son usadas.

Esta prueba básicamente se usa para garantizar la mínima fuerza dieléctrica del sistema de aislamiento y con la cual se detecta las debilidades del aislamiento con la finalidad de programar un mantenimiento o realizar su reparación durante una parada de planta, esta prueba también es muy común de realizar sobre todo cuando una maquina esta recién construida (fabrica) o reparada (rebobinado) con la finalidad de verificar la condición del aislamiento y debe de aplicarse por fase y las otras dos fases y dispositivos auxiliares conectados a tierra. Esta prueba es muy útil para detectar diverso problemas o averías como fisuras, grietas, humedad, contaminación, separación de cintas aislantes entre otras averías.

Existe mucho debate y desconocimiento por parte de los clientes y usuarios de estos motores que creen que las pruebas hi-pot son destructivas y que muchos de ellos no quieren que se realicen pruebas hi-pot por temor a que dañen el aislamiento o terminen quemando el motor por así decirlo, sin embargo la respuesta a esta duda común es que no es un prueba destructiva ya que no degradan significativamente el aislamiento del devanado siempre en cuando el aislamiento sea alto sin embargo si tuvieran un aislamiento deficiente no pasarían la prueba de hi-pot, para un devanado con un muy buen aislamiento soportara entre 2 y 3 veces la tensión aplicada en hi-pot DC, la tensión debe de aplicarse forma gradual para no exceder la máxima tensión de prueba la duración de esta prueba comúnmente es durante 1 minuto contados una vez alcanzado el valor máximo de tensión de prueba, los niveles de tensión aplicados se pueden ver en la tabla 21 y son los que recomiendan la norma IEEE STD 95.

PRUEBAS PARA EQUIPOS NUEVOS Y USADOS, TENSION DE PRUEBA DE ACUERDO A LA NORMA IEEE STD 95	
DC HIPOT	65 – 75 % ($2E + 1000$ V)
Donde E es tensión nominal línea - línea.	

Tabla 23. Valor de tensión de prueba para prueba de alto potencia (HI-POT)



Figura 92. Prueba de alto potencial (HI-POT)

Las recomendaciones para la realización de esta prueba es entre 3 – 5 años aprovechando las paradas de planta o mantenimiento que se tengan programados en la maquina con la finalidad de verificar que es aislamiento es lo suficientemente robusto y la maquina puede seguir operando perfectamente y no presentara fallas en el devanado. Esta prueba comúnmente es realizada por el equipo Baker D65R el cual podemos apreciar en la figura 87.

En el caso del motor que estamos evaluación no se realizaron las pruebas de alto potencial por decisión del cliente.

- **Prueba de impulso (Surge Test)**

La prueba de impulso de acuerdo a la norma IEEE 522 es realizada para determinar la fuerza dieléctrica entre vueltas en el devanado de estator. Con esta prueba podemos encontrar diversos tipos de falla como, falla entre vueltas de la misma bobina, falla entre bobinas, falla entre fases.

El equipo que se usa comúnmente para realizar esta prueba es el Baker D65R la prueba consiste en cargar un condensador que está instalado dentro del equipo de prueba el cual posteriormente se descargara sobre una fase del motor para esto las otras dos fases deben de estar conectadas a tierra, posteriormente el equipo de prueba incrementara la tensión de 0V a la tensión final de prueba que seleccionada, este incremento de tensión dará origen a una forma de onda que se basa en la inductancia de la bobina en caso de que alcance la tensión de prueba seleccionada si ningún cambio en la frecuencia de la forma de onda de ser así el aislamiento entre espiras se encuentra en buen estado en caso contrario si el equipo de prueba detecta que la forma de la onda se desplaza hacia la izquierda o derecha podremos concluir que existe un debilitamiento o cruce entre espiras.

Esta prueba normalmente se realiza luego de las pruebas HI-POT y es necesario realizar la prueba de resistencia de aislamiento (IR) nuevamente antes de realizar la prueba de impulso con la finalidad que el aislamiento es alto.



Figura 93. Grafica de ondas de prueba de impulso (Estator sin cruce entre espiras).

Para el caso del motor que estamos evaluando no se realizó esta prueba por decisión del cliente por el desconocimiento de que son pruebas destructivas y por temor a que esta prueba pueda dañar el aislamiento y que el motor falle en operación, sin embargo queríamos mencionar estas dos pruebas ya que son muy importantes para la evaluación del devanado de estator y rotor.

5.4.3 PRUEBAS ELÉCTRICAS DINAMICAS FINALES EN VACIO.

Una vez realizadas las pruebas estáticas finales y si todos los resultados son favorables se procede al arranque del motor en vacío con la finalidad de comprobar el buen funcionamiento del motor, el cual deberá montarse en una base sólida y segura para posteriormente realizar las conexiones correspondientes y proceder a energizar el motor y ponerlo en funcionamiento en vacío en caso de no contar con el acople del motor será necesario colocar una media chaveta en el canal chavetero del eje donde va montado el acople que en las instalaciones de se acopla a un bomba, molino o dependiendo la aplicación para la que este diseñado el motor.

Estas pruebas tienen una duración aproximada de 30 - 60 min dependiendo del comportamiento del motor hasta cuando los valores de temperatura de rodamientos se mantengan estables. Los parámetros a medir y monitorear son los siguientes:

- **Toma de medida de temperatura de rodamientos.**

Una vez realizado el arranque del motor y hasta que alcance su velocidad nominal se tiene que realizar la medición de temperatura de los rodamientos y ambiente, esta medida se tiene que ir realizando y monitoreando los datos de temperatura de trabajo en los rodamientos hasta el momento en que la temperatura se mantenga estable durante los 60 min de prueba que normalmente se suele realizar.

Para esta prueba es necesario el uso de termómetro infrarrojo (ver figura 94) con el cual podremos realizar la medida de temperatura puntual en las tapas de los rodamientos en este caso sería en la carcasa de las cajas de grasa, un equipo que también podría utilizarse en las pruebas para ver el calentamiento de los rodamientos y en general del motor sería la cámara termográfica.



Figura 94. Termómetro infrarrojo Fluke 572. (Fluke, n.d.-b)

En nuestro caso la temperatura máxima alcanzada en las pruebas dinámicas en vacío en los rodamientos fue de 54 °C en la caja de grasa lado acople y 52 °C en la caja de grasa lado libre estos valores de temperatura se encuentra dentro de la temperatura normal de funcionamiento de motor en vacío. (Ver tabla 24)

- **Toma de medida de intensidad de corriente.**

La toma de medida de la corriente de trabajo del motor se debe de realizar para comprobar que el consumo de corriente debe de ser mucho menor a la corriente nominal de trabajo ya que el motor está trabajando sin carga, de acuerdo medida de consumo de corriente esta tiene un valor de 36 A. (Ver tabla 24)



Figura 95. Pinza amperimétrica Fluke. (Fluke, n.d.-a)

- **Toma de medida de velocidad (RPM).**

Se debe de comparar la velocidad a la que esta funcionando el motor con la que se indica en la placa de datos la cual tendrá que ser similar. Esta prueba se realiza haciendo uso del tacómetro. (Ver tabla 24)

Equipo	DM – MS – 01V - 093	Equipo	DM – MSA – 01C - 078	Equipo	DM – MS – 2C - 044
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor		
Voltaje (V)	4 400	Corriente (A)	36.0		
Frecuencia (Hz)	60	Velocidad (RPM)	876		
Tbob (°C)	24.0	Tamb (°C)	17.4		
T Chumacera LA (°C)	54.0	T. Chumacera LNA (°C)	52.0		
Tiempo de Prueba (H)	30 min.	Dirección	ANTI- HORARIO		

Tabla 24. Valores de medida de temperatura durante pruebas finales en vacío.

- **Toma de medida de vibraciones de cojinetes (Cajas de grasa)**

Una vez se alcance una temperatura estable en los rodamientos se puede proceder a la medición de vibraciones de los cojinetes de las cajas de grasa para realizar la toma de medidas se tiene colocar el sensor del equipo medidor de vibraciones (ver figura 96) en tres posiciones horizontal, vertical y axial en ambas cajas de grasa.

De acuerdo a la norma ISO 10816 la medida de vibraciones y el análisis que se hará y los límites de medida de vibraciones únicamente aplicaran para vibraciones producida por la propia maquina es decir no se consideran vibraciones que se puedan transmitir al motor de fuentes externas el valor de medida de vibraciones se da en RMS (mm/s) velocidad es importante que al realizar la medida de vibraciones los sensores sean colocados de forma correcta para que la medida sea correcta.

En cuanto a la clasificación de los niveles de vibraciones esta se dará por parámetros como tipo de máquina, potencia o altura de eje y flexibilidad de la base del motor. En nuestro caso y de acuerdo a la gráfica de la figura 97 existen 4 grupos para la clasificación de acuerdo al tipo de máquina, el motor que estamos evaluando seria parte del grupo 1 por ya que es una maquina superior a 300 KW y de acuerdo a la información que se tienen del lugar del trabajo del motor este motor trabaja en una base rígida por lo cual ya podemos definir los límites de los valores de vibración en las 3 posiciones.

A continuación se detallan los valores de vibración en las tres posiciones y en ambas cajas de grasa (ver tabla 25) estas medidas de velocidad medidas por el equipo de vibración se analizaran de acuerdo a la gráfica de valores límites de vibración donde la zona optima es la verde y amarilla de acuerdo la gráfica (Ver figura 97) el valor de vibración que como máximo debería de alcanzar para poder trabajar y pasar satisfactoriamente las pruebas dinámicas en vacío no debería de exceder los 4.5 mm/s.

Como podemos ver en la tabla 25 todos los valores registrados en las 3 posiciones se encuentran en la zona verde y amarilla (lado acople velocidad horizontal – 2VH) estos valores bajos de vibración se deben refleja el balanceo dinámico realizado el cual siempre se intenta dejar en valores cercanos a 0 mm/s con la finalidad en las los valores de vibración sean bajos tal cual a los mostrados en la tabla 25.

Equipo		DM – MS – 3C - 079	
Punto	Valor RMS (mm/s)	Punto	Valor RMS (mm/s)
2VH	2.25	1VH	0.68
2VV	1.25	1VV	0.94
2VA	0.47	1VA	0.37

Tabla 25. Valores de medidas de vibraciones en pruebas dinámicas en vacío.



Figura 96. Monitorización de vibraciones en pruebas en vacío.

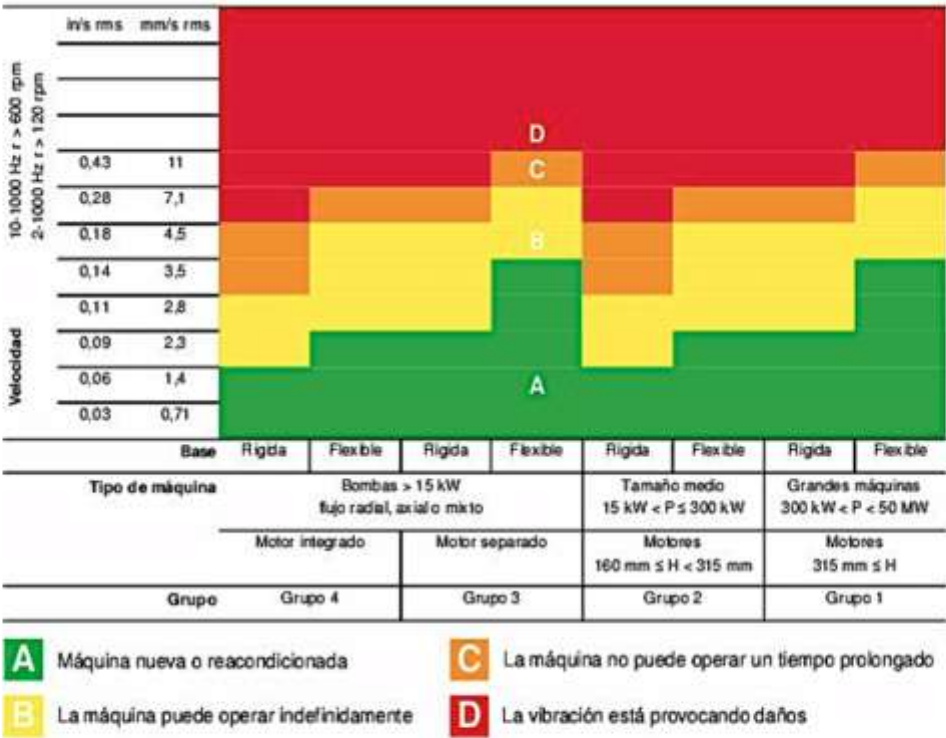


Figura 97. Grafica de niveles de vibración de acuerdo a Norma ISO 10816. (ISO, 2014)

Con estas últimas pruebas se concluye las pruebas finales y se procede a la liberación del motor para el proceso de pintura embalaje y acabados y para su posterior preparación para el transporte a las instalaciones del cliente.

Todo el proceso de mantenimiento se puede apreciar en el diagrama de flujo de mantenimiento en el Anexo G.

5.5 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MOTORES SÍNCRONOS.

Dentro de las recomendaciones que hemos realizado para los hallazgos que se encontraron en este tipo de máquinas vamos a establecer una serie de actividades que se pueden encontrar en el ANEXO H. Plan de mantenimiento preventivo de motores síncronos en el cual se recomienda realizar una serie de actividades programadas para poder así establecer un mayor control del estado de la máquina asegurando la disponibilidad y evitando paradas no programadas este plan será la propuesta de mantenimiento a realizar en las instalaciones del cliente después del comisionamiento y puesta en marcha del motor. Este plan incluye los costes por las actividades y repuestos con la finalidad de cuantificar el impacto económico de estas actividades

5.6 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MOTORES SÍNCRONOS.

Es importante que además del mantenimiento preventivo se realicen controles y monitoreen parámetros críticos del motor que con el funcionamiento y el paso del tiempo será muy importante analizar estos datos para posteriormente programar un mantenimiento preventivo es por eso que se propone en el ***ANEXO I. Plan de mantenimiento predictivo para motores síncronos.*** Al igual que el plan de mantenimiento preventivo se ha cuantificado las actividades y tareas programadas para analizar sus costes e impacto económico.

5.7 ANALISIS ECONÓMICO.

La aplicación del mantenimiento en hoy en día es de mucha importancia ya que una buena programación del mantenimiento preventivo y predictivo no permitirán adelantarnos a tener fallos del motor de forma inesperada lo cual se verá reflejado en los excesivos costes en los que se incurrirá para poder reparar la maquina en el caso particular que hemos podido ver el motor de 8000 KW llego presentando muchos problemas es por eso que se tuvieron que realizar las medidas correctivas con proveedor especializado lo cual representa un alto coste, probablemente el cliente no tuvo un buen control de ciertos parámetros críticos de este tipo de motores que son el sistema portaescobillas, cajas de grasa y sistema de ventilación aire – aire.

Lo que a continuación se puede ver en la tabla 26 es el análisis comparativo de costes que se debe de analizar para llevar un mantenimiento preventivo y predictivo vs un correctivo y también el escenario que en que se presente un fallo de la máquina y se origine una parada de planta o de la línea de producción.

Para el caso de una parada de planta o línea de producción el habilitar un nuevo motor de reemplazo y su puesta en servicio puede tardar como un mínimo de 36 horas desde la evaluación del motor en las instalaciones hasta las pruebas montaje, alineamiento y puesta en servicio.

CONCEPTO	IMPORTE (€)
COSTE PROMEDIO ANUAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	29,240.00 €
COSTE PROMEDIO ANUAL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	7,572.00 €
COSTE ACUMULADO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	283,920.00 €
COSTE ACUMULADO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	74,340.00 €
COSTE DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO (TALLER PROVEEDOR)	145,000.00 €
COSTE X HORA DE PARADA DE PLANTA (MOLIENDA MINERÍA)	150,000.00 €
COSTE DE UN MOTOR SINCRONO NUEVO 8000 KW	1,300,000.00 €

Tabla 26. Cuadro de costes de mantenimiento para motor síncrono.

5.7.1 COSTES DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

En la figura 98 se puede apreciar la gráfica de los costes anuales por mantenimiento preventivo estos costes son el resultado del cálculo de las tareas que se asignaron al plan de mantenimiento es decir las horas hombre necesarias y los repuestos que se necesiten de acuerdo a la tarea a realizar y de acuerdo a la frecuencia en que sean

necesarias realizar durante el periodo de un año en el cual realizamos una estimación de las horas de funcionamiento del motor trabajando a 24 horas 7 días de la semana un aproximado de 8000 horas x año este cálculo se ha extrapolado hasta las 120000 horas tiempo en el cual será necesario realizar un overhaul similar al que se realizó en el taller pero con la diferencia que esta futura intervención se podrá programar de acuerdo a los controles y tareas preventivas que deberán realizarse y que previamente el motor no presente indicios de averías severas, es por eso la importancia de la programación de forma sistemática de acuerdo a las horas de funcionamiento para asegurar la disponibilidad de la máquina.

A continuación se muestra la figura 98 – 99 donde se puede ver el comportamiento de los costes de mantenimiento preventivo en el tiempo de acuerdo a las actividades programadas y considerando un funcionamiento anual de 8000 horas.



Figura 98. Grafica de costes de mantenimiento preventivo anual.

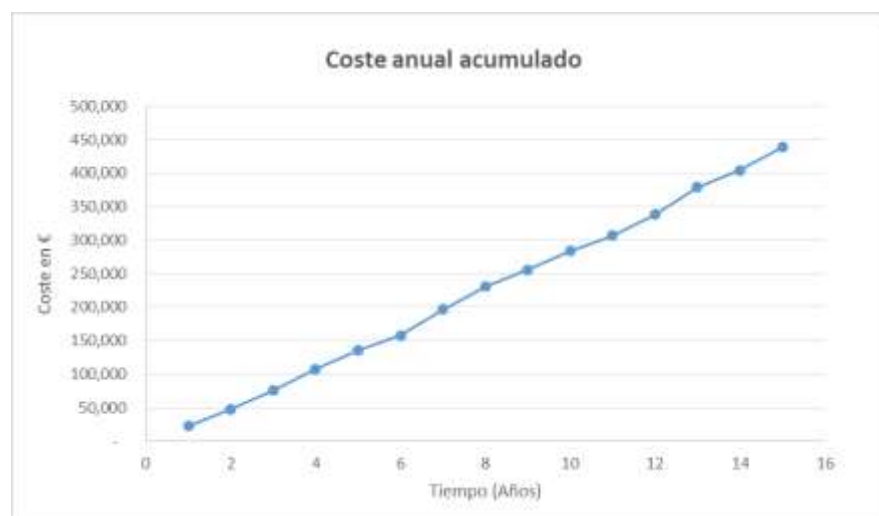


Figura 99. Grafica de costes de mantenimiento preventivo anual.

5.7.2 COSTES DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Las actividades de mantenimiento predictivo son muy importantes ya que a partir de estas actividades y en su mayoría pruebas eléctricas e inspecciones pues se podrá hacer la evaluación y predecir el fallo que pueda tener en un futuro la maquina con lo cual se podrá mantener un mantenimiento preventivo programado y poder adelantarnos a que se presente una falla intempestiva.

En la figura 100 – 101 podremos ver el comportamiento anual de los costes que se incurrirán al realizar el plan de mantenimiento predictivo en el motor síncrono que hemos estado evaluando así como se podrá ver el comportamiento de coste acumulado hasta las 120000 horas de funcionamiento.

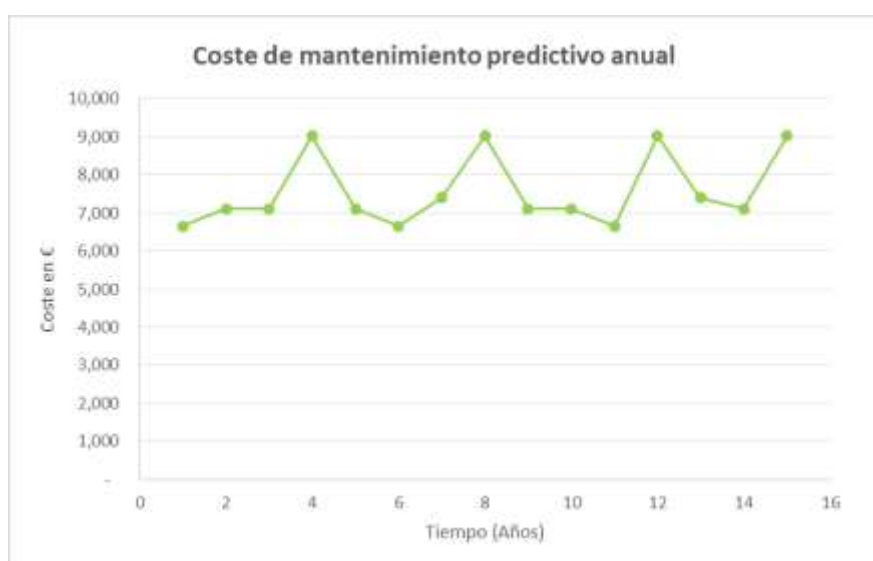


Figura 100. Coste anual de mantenimiento predictivo.

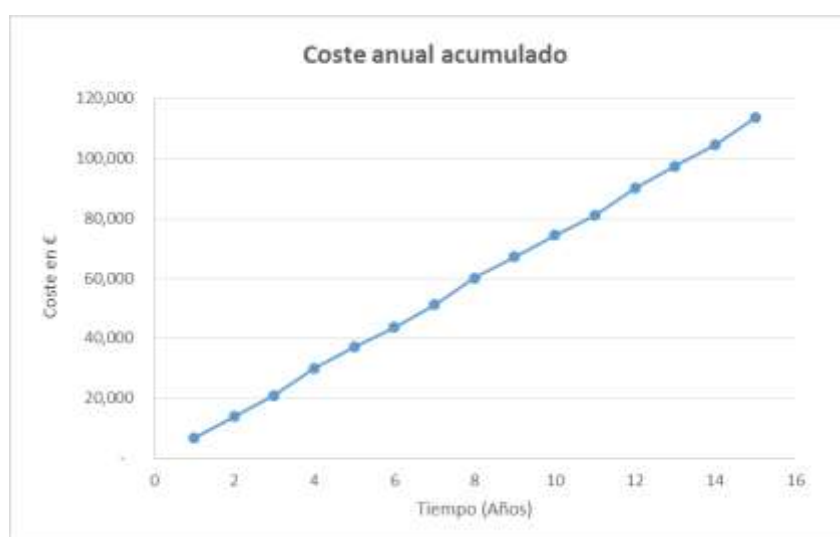


Figura 101. Grafica de coste anual acumulado de mantenimiento predictivo.

6. CONCLUSIONES

En la industria actual los motores eléctricos síncronos si bien son un tipo de motor que se usan en aplicaciones específicas en la industria representan un tipo motor importante y a la vez crítico en los procesos productivos en los cuales trabajan, de acuerdo al análisis de este tipo de máquinas su principio de funcionamiento y el proceso de evaluación y mantenimiento descrito en el presente trabajo así como las recomendaciones y los planes de mantenimiento podemos concluir lo siguiente.

Para este tipo de motores y de acuerdo a la evaluación realizada es muy importante realizar inspección y mantenimiento al sistema porta escobillas y a las cajas de grasa siendo estos componentes los más críticos y lo que puede originar fallas de tipo eléctrico y mecánico en el motor, por no llevar un control de forma continua.

Es muy importante llevar un procedimiento de trabajo al momento de la evaluación y montaje de este tipo de máquinas y sobre todo realizar registros de datos de funcionamiento del motor con la finalidad de poder contrastar las condiciones en las que estuvo trabajando, las actuales en el momento de la evaluación.

Se han descrito las diversas técnicas y métodos de evaluación mecánica y eléctrica para poder analizar las condiciones de un motor síncrono así como los equipos que son necesario para realizar dichas técnicas así como las normas con las que se tienen que cumplir para poder realizar el análisis mecánico y eléctrico de los motores síncronos e indicar si las pruebas son satisfactorias o no adicionalmente debemos mencionar que es muy importante llevar un orden riguroso con las actividades de mantenimiento previo al montaje es decir que se tienen que tener todos los componentes listos para poder realizar un trabajo ininterrumpido.

Si bien es cierto la evaluación, mantenimiento y montaje que hemos descrito son actividades correctivas se ha elaborado un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para que se tenga un mayor control de los parámetros del motor que influyen en el buen funcionamiento con la finalidad de prolongar la vida de la máquina y evitar fallos y averías del motor inesperadamente

Llevar un correcto mantenimiento definitivamente es muy importante para el proceso de producción de cualquier tipo de industria, asegurar la disponibilidad de la máquina y sobre todo hacer un buen uso de los recursos tendrán un impacto económico de ahorro para la empresa que trabajo con motores síncronos ya que como hemos podido ver el coste de un servicio de este tipo tiene un alto coste y mucho más aun el paro de una línea de producción afectara en la económica y beneficios de una empresa.

7. BIBLIOGRAFIA

- ABB. (n.d.). *Variadores de frecuencia*. Retrieved July 6, 2020, from <https://new.abb.com/drives/es/comprar-variadores>
- ABB. (2012). *ABB*. <https://new.abb.com/news/es/detail/36206/abb-adjudico-contrato-por- alrededor-de-us-90-millones-con-minera-cerro-verde>
- ABB. (2018). Synchronous motors High performance in all applications. *ABB"Power and Productivity for a Better World"*, 20.
- AEMC. (n.d.-a). *Megohmetro 6550 AEMC*. Retrieved July 25, 2020, from <https://www.aemc.com/products/megohmmeters/megohmmeter-6550>
- AEMC. (n.d.-b). *Micro-ohmímetro AEMC*. Retrieved July 25, 2020, from <https://www.aemc.com/products/micro-ohmmeters/micro-ohmmeter-6255>
- ARIAN. (2011). *Conexión de la Pt100*. 1–6. <http://www.arian.cl>
- Armengol Blanco, B. (2018). *Máquinas Eléctricas*.
- ENERPAC. (2016). *Extractor hidraulico de agarre Posi Lock*. 178–181.
- Farnell. (2019a). *CC sin escobillas (BLDC)*. <https://es.farnell.com/motor-control-brushless-dc-bldc-technology>
- Farnell. (2019b). *Motor síncrono de imán permanente (PMSM)*. <https://es.farnell.com/motor-control-permanent-magnet-sync-motor-pmsm-technology>
- Fluke. (n.d.-a). *Pinza Aperimetrica 381*. Retrieved August 15, 2020, from <https://www.fluke.com/es-es/producto/comprobacion-electrica/pinzas-amperimetricas/fluke-381>
- Fluke. (n.d.-b). *Termometro infrarrojo 572*. Retrieved August 15, 2020, from <https://www.fluke.com/es-es/producto/medicion-de-temperatura/termometros-por-infrarrojos/fluke-572-2>
- FLUKE. (n.d.). *Camara Termografica Fluke ti300+*. Retrieved July 28, 2020, from <https://www.fluke.com/es-es/producto/camara-termografica/ti300plus>
- FLUKE. (2020). *Multimetro Fluke 87V*. <https://www.fluke.com/es-es/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/87v-max>
- Fondo Formación. (2001). *Motores Síncronos Programa de Formación Abierta y Flexible*.
- Group, C. A. (2010). *Guía de la medición de aislamiento*. 1–28.
- HELLER. (n.d.). *Torno paralelo Heller*. Retrieved July 16, 2020, from <https://www.hellermquinaria.com/torno-paralelo-grande-heller-tpg1600x3000-15000>
- Industrial, E. (n.d.). *Escobillas de Carbon*. www.escobillaindustrial.com.mx
- ISO. (2014). *Norma ISO 10816*. 1–4.
- KÄCHER. (2020a). *Aspiradora Industrial IVS 100/55 M*. <https://www.kaercher.com/es/professional/tecnica-de-aspiracion-industrial/aspiradores-para-uso-industrial/aspiradores-para-uso-industrial-sustancias-solidas-polvo/ivs-100-55-m-15737220.html>
- KÄCHER. (2020b). *El Ice Blaster IB 7/40 Advanced*. <https://www.kaercher.com/es/professional/limpieza-con-hielo-seco/ib-7-40-adv->

15740020.html

KÄCHER. (2020c). *La limpiadora de alta presión con agua caliente HDS E 8/16-4 M*. <https://www.kaercher.com/es/professional/limpiadoras-de-alta-presion/limpiadoras-de-alta-presion-de-agua-caliente/gama-especial/hds-e-8-16-4-m-24-kw-10309040.html>

METCO, S. (n.d.). *Termorociado*. Retrieved July 15, 2020, from <http://hartmetallgroup.com/sitio/sulzer-metco-2/#!prettyPhoto>

MITUTOYO. (n.d.). *Micrometro de exteriores*. Retrieved July 15, 2020, from <https://www.hoffmann-group.com/PT/es/hop/Técnica-de-medición/Micrómetros/Micrómetros-para-exteriores/Micrómetro-de-exteriores-grande/p/420810-200-300>

Mogollón, Á., & Vargas, J. (2013). *Motores Sincronos y sus Aplicaciones en la Industria*.

Monjo, A. (n.d.). *Motor Síncrono*. 8.

RENK. (n.d.). *Type E Slide Bearings Series EG / ER*.

Rodriguez Pozueta, M. A. (2015). *Máquinas Eléctricas I - G862*.

SKF. (2017). *Productos de Mantenimiento y Lubricación SKF*.

SKF. (2018). *Los soportes de pie SNL 30 , SNL 31 y SNL 32*.

Technology, M. (n.d.). *Split Spherical Roller Bearings*. Retrieved May 25, 2020, from <https://www.mining-technology.com/contractors/maintenance/ab-skf/pressreleases/split-spherical-roller-bearings/>

Universitat de València. (2008). *Motor de Corriente Alterna (AC) Síncrono*.

Upna. (2014). Control de un motor paso a paso. *IngeniApp*, 125. <http://ingeniapp.com/control-motor-paso-a-paso-con-raspberry-pi/>

WEG. (n.d.). *Motor Síncrono*. Retrieved April 6, 2020, from <https://www.weg.net/institutional/GD/es/news/productos-y-soluciones/nuevos-motores-sincronicos-de-weg-son-resistentes-y-dinamicos>

WEG. (2015). Motores Sincrónicos. In *Www.Weg.Net*.

WEG. (2016). *Motores sincrónicos Línea S – Horizontales Con escobillas*.

ANEXOS

Anexo A. Materiales de Almacén (62)

ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	UNIDAD	DÍAS EN ALMACÉN	ALMACÉN	CC ALMACÉN	CANTIDAD DISPONIBLE	COSTO UNITARIO	TOTAL (S/.)
1	05950103	CINTA VULCANIZANTE 23	Rollo	16	62	38310	1.00	40.42	40.42
2	27661015	SPACE HEATER	Pz	570	62	38310	1.00	722.47	722.47
3	32070114	SENSOR PT-100 Ø 4 5X73MM CON BULBO DE ACERO INOX	Pz	597	62	38310	1.00	198.00	198.00
4	32070120	SENSOR PT-100 Ø 3/16X86MM CON BULBO DE ACERO INOX	Pz	537	62	38310	1.00	184.00	184.00
5	32070121	SENSOR PT-100 Ø 4X80MM CON BULBO DE ACERO INOX	Pz	886	62	38310	1.00	306.00	306.00
6	32070124	SENSOR DE TEMPERATURA PT-100 SON SENSOR PLANO	Pz	643	62	38310	2.00	156.00	312.00
7	385M004641-9	TEMP. GUARD	Pz	73	62	38310	9.00	134.69	1212.21
8	40104024	PORTAESCÓBILLAS PIPUESTA EN TIERRA (SET)	Jgo	597	62	38310	3.00	242.38	727.14
9	40700020	Alambre de base de 1/8" Tipo: 798A	Pz	681	62	38310	5.00	389.19	1945.95
10	40700021	Melcoloy #2 de 1/8" Tipo: 60T	Pz	32	62	38310	90.31	72.27	6526.70
11	40700275	PIPING	Pz	780	62	38310	2.00	7,482.68	14965.36
12	54030013	CANDADO DE ALUMINIO ROJO GRILLETE LARGO PANDUIT	Pz	213	62	38310	1.00	42.22	42.22
13	54110016	Rodaje 6314/C3	Pz	132	62	38310	2.00	229.97	459.94
14	54110124	Rodaje 7330 BCBM	Pz	235	62	38310	1.00	5,096.24	5096.24
15	54110497	RODAJE NU 326 E IMC3	Pz	912	62	38310	1.00	1,837.79	1837.79
16	54110527	RODAJE NU 320 E IMC3	Pz	37	62	38310	1.00	1,126.69	1126.69
17	54110564	RODAJE 6214/C3	Pz	440	62	38310	1.00	137.44	137.44
18	54200008	Hoja de sierra de 18 dientes	Pz	367	62	38310	21.00	3.50	73.50
19	54200009	Hoja de sierra de 24 dientes	Pz	481	62	38310	15.00	3.54	53.10
20	54300012	LIJA PIPE, GRANO 100 ABRALIT	Pz	83	62	38310	10.00	1.34	13.40
21	54300016	LIJA GR. GRUESO(40-3) P.FE. PLIEGOS	Pz	74	62	38310	44.00	1.44	63.36
22	54300022	Lija de Fe # 120	Pz	2	62	38310	67.00	1.02	68.34
23	54300024	Lija al agua # 600	Pz	2	62	38310	20.00	0.60	12.00
24	54300025	Lija al agua # 400	Pkg	2	62	38310	26.00	0.92	23.92
25	54300028	LIJA AL AGUA # 100	Pz	104	62	38310	53.00	0.85	45.05
26	54305455	PORTACANDADO 25 MM PARA 6 CANDADOS CON MUESCAS PAND	Pz	223	62	38310	5.00	17.18	85.90
27	54600001	Lima plana bastarda de 6"	Pz	191	62	38310	1.00	8.80	8.80
28	54600002	Lima plana bastarda de 8"	Pz	135	62	38310	4.00	11.20	44.80
29	54600012	Lima Redonda Bastarda 12"	Pz	191	62	38310	4.00	20.44	81.76
30	55105511	PLATINA CU ELECTR. 99.99% TEMPLE BLANDO 1.51X12.65MM	Kg	1591	62	38310	157.00	30.62	4807.34
31	56200008	ALAMBRE RED.25AWG CU-BLAN. 2XESM.(Ø 455)	Pz	727	62	38310	7.60	32.68	248.37
32	56200010	ALAMBRE RED.19AWG CU-BLAN	Pz	195	62	38310	6.20	32.74	202.99
33	56200016	ALAMBRE RED.11AWG CU-BLAN. 2XESM.(2.310)	Pz	1047	62	38310	54.85	32.35	1774.40
34	56200020	ALAMBRE RED.15AWG CU-BLAN. 2XESM.(1.440)	Kg	68	62	38310	10.40	27.82	289.33
35	56200024	ALAMBRE RED.21AWG CU-BLAN. 2XESM.(Ø 724)	Pz	929	62	38310	23.00	32.14	739.22
36	56200026	ALAMBRE RED.18AWG CU-BLAN. 2XESM.(1.019)	Pz	184	62	38310	6.60	30.13	198.86
37	56200028	ALAMBRE RED.23AWG CU-BLAN. 2XESM.(Ø 574)	Pz	223	62	38310	10.20	34.58	352.72
38	56200034	ALAMBRE RED.24AWG CU-BLAN. 2XESM.(Ø 511)	Pz	223	62	38310	13.45	33.47	450.17
39	56200036	ALAMBRE RED.22AWG CU-BLAN. 2XESM.(Ø 643)	Pz	720	62	38310	7.00	32.44	227.08
40	56200040	ALAMBRE RED.14AWG CU-BLAN. 2XESM.(1.620)	Kg	173	62	38310	44.30	29.24	1295.33
41	56200042	ALAMBRE RED.13AWG CU-BLAN. 2XESM.(1.820)	Pz	174	62	38310	9.50	29.00	275.50
42	56200048	ALAMBRE RED.16AWG CU-BLAN. 2XESM.(1.290)	Kg	2	62	38310	19.90	27.45	546.26
43	56200370	ALAMBRE RED.28AWG CU-BLAN. 2XESM.	Kg	1025	62	38310	4.90	39.53	193.70
44	56200381	ALAMBRE ULTRA SHIELD 15	Lb	151	62	38310	15.50	30.35	470.43
45	57000072	PLATINA ESMALTADA INVETER 180R DE 2.8 MM X 4.85 MM	Pz	1084	62	38310	48.40	41.80	2023.12
46	57200033	Platina CU 5.66 x 5.86 mm temple blando forro vidri	Kg	996	62	38310	214.40	29.08	6234.75
47	57200053	platina de Cu Poliglass 6.00 mm. x 3.30 mm.	Kg	1084	62	38310	19.00	27.34	519.46
48	57400004	PLATINA CU POLIGLAS ER2 180°C DE 6.44X6.44MM	Pz	549	62	38310	29.10	35.12	1021.99

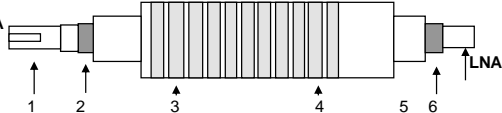
49	58200001	Cable SIWO KUL de 6.6 kV de 70 mm2	Pz	1227	62	38310	12.37	66.32	820.36
50	58200002	Cable EXANE DAA1093 NTXE9 2524U(075) 373MCM 2kV DC	Pz	675	62	38310	21.43	102.42	2194.86
51	58200004	Cable Siliconado 18 AWG	Mt	235	62	38310	21.60	1.67	36.07
52	58200005	Cable Siliconado 16 AWG	Mt	243	62	38310	1.47	3.63	5.34
53	58200006	Cable Siliconado 10 AWG	Mt	195	62	38310	14.50	7.22	104.69
54	58200030	CABLE SIWO-KUL 6.6KV 50 mm2	Pz	849	62	38310	12.00	82.90	994.80
55	58200034	Cable Siliconado 14 AWG	Pz	677	62	38310	11.50	3.40	39.10
56	58200035	Cable Siliconado 12 AWG	Pz	367	62	38310	25.00	5.17	129.25
57	58200037	Cable Siliconado 2AWG	Mt	72	62	38310	1.70	49.92	84.86
58	58200061	CABLE EPDM DE ALTA TEMP 1/0 AWG (50MM) BELDEN	Pz	276	62	38310	8.50	109.08	927.18
59	58600105	CABLE SILICONADO 8 AWG	Pz	219	62	38310	8.50	10.04	85.34
60	58600107	CABLE SILICONADO C/F POLIESTER 16 MM (6 AWG)	Mt	184	62	38310	1.40	20.24	28.34
61	58600110	CABLE SILICONADO 2/0 AWG	Mt	494	62	38310	1.00	80.35	80.35
62	58600111	CABLE SILICONADO 3/0 AWG	Mt	1159	62	38310	10.50	98.69	1036.25
63	58600115	CABLE SILICONADO 1/0 AWG	Mt	591	62	38310	9.50	59.89	568.96
64	58600117	CABLE RADIX WIRE II SIL-A-BLEND AWM I A/B FT2	Mt	605	62	38310	4.40	93.55	411.62
65	58600118	CABLE SENSOR RADIX WIRE II SIL-A-BLEND AWM I	Mt	614	62	38310	7.60	20.40	155.04
66	58800029	Cable extraflexible 150°C 600 V 10 mm2.	Pz	401	62	38310	250.00	5.69	1422.50
67	58800030	Cable extraflexible 150°C 600 V 16 mm2.	Pz	48	62	38310	28.40	13.22	375.45
68	58800031	Cable extraflexible 150°C 600 V 25 mm2.	Pz	444	62	38310	0.41	8.05	3.30
69	58800032	Cable extraflexible 150°C 600 V 35 mm2.	Pz	4	62	38310	85.79	11.27	966.85
70	58800036	Cable extra flexible 150 600V de 700 mm2	Pz	102	62	38310	0.42	24.61	10.34
71	58800113	CABLE EXTRAFLEXIBLE3/0AWG	Mt	37	62	38310	20.00	72.69	1453.80
72	58800114	CABLE EXTRAFLEXIBLE1/0AWG	Mt	1243	62	38310	43.17	49.27	2126.99
73	58800115	CABLE EXTRAFLEXIBLE1 AWG	Mt	130	62	38310	340.53	18.83	6412.18
74	58800163	CABLE PARA PUESTA TIERRA CPT 14 AWG (AMARILLO - VE	Mt	184	62	38310	100.00	0.98	98.00
75	60400055	PLACA HERMETICAHORIZONTAL DECORA METALICA 4990 MARC	Pz	184	62	38310	10.00	21.01	210.10
76	60400056	TOMACORRIENTE PARA EMPOT. INCLIN 3X32A +T 415 VIP44	Pz	87	62	38310	2.00	15.14	30.28
77	60400057	ENCHUFE INDUST 3X32A +T 415 V IP44 6H	Pz	184	62	38310	3.00	15.50	46.50
78	61000028	NOMEX PURO 0.18mm	Kg	74	62	38310	0.50	381.34	190.67
79	61000024	NOMEX MAYLAR NOMEX 0.25 N50M125N 0.24X900/	Kg	11	62	38310	0.40	109.40	43.76
80	61000027	Nomex T410 914 x 0.30mm	Pz	577	62	38310	1.20	288.50	346.20
81	61000037	NOMEX MAYLAR NOMEX 0.30MM	Kg	171	62	38310	3.00	98.63	295.89
82	62100001	Spaguetti Vidrio Barnizad Clase F 20.00 M M	Mt	48	62	38310	11.27	13.99	157.67
83	62100603	Spaguetti Vid Barnizado Clase F 14mm	Mt	37	62	38310	17.08	9.53	162.77
84	62100604	SPAGUETTI VID.BAR.AM.10mm	Mt	341	62	38310	28.56	4.04	115.38
85	62100607	SPAGUETTI VID.BAR.AMA.2mm	Mt	125	62	38310	4.71	0.87	4.10
86	62100608	SPAGUETTI VID.BAR.AMA.3MM	Mt	48	62	38310	55.80	1.39	77.56
87	62100610	SPAGUETTI VID.BAR.AMA.8MM	Mt	116	62	38310	32.50	3.14	102.05
88	62100612	SPAGUETTI VID.BAR.AM.16mm	Mt	37	62	38310	0.52	8.99	4.67
89	62100614	SPAGUETTI VID.BAR.AM.12mm	Mt	4	62	38310	15.00	6.68	100.20
90	62100618	SPAGUETTI VID.BAR.AMA.1mm	Pz	83	62	38310	31.94	0.91	29.07
91	62100624	SPAGUETTI VID.BAR.AMA.4MM	Mt	48	62	38310	37.80	1.58	59.72
92	62100625	Spaguetti Vidr. Barnizado de 0.5mm	Mt	636	62	38310	40.12	0.82	32.90
93	62100714	SPAGUETTI VID. BAR. 6MM	Mt	4	62	38310	19.12	2.49	47.61
94	62100716	SPAGUETTI VID. BAR. 18MM CLASE F	Mt	48	62	38310	0.92	8.99	8.27
95	62110017	Manga termo contraible Diam.18mm,F-18, negro	Mt	37	62	38310	12.80	5.91	75.65
96	62110029	MANGA TERMOCONTRAIBLE # 20	Pz	558	62	38310	10.00	6.39	63.90
97	62110041	MANGA TERMOCONTRAIBLE #15	Pz	58	62	38310	17.48	3.82	66.77
98	62110042	MANGA TERMOCONTRAIBLE #25	Pz	48	62	38310	8.02	6.88	55.18
99	62210013	Maylar de 0.20 mm	Kg	305	62	38310	0.60	30.69	18.41
100	62210016	CINTA DE ALGODON 1/2".	Pz	146	62	38310	20.00	4.07	81.40
101	62210021	Cinta remicaflex de 0.14 x 20 mm x 50 m.	Pz	146	62	38310	2.00	42.19	84.38
102	62210031	NOMEX MAYLAR NOMEX 0.18	Pz	74	62	38310	2.20	136.69	300.72

103	62210042	BRAIDAD DHL 4.0 mmx228 Mt	Pz	478	62	38310	1.00	77.39	77.39
104	62210046	CINTA FILAMENTADA TAPE 897 DE 20MMX50MTS	Rollo	75	62	38310	1.00	13.46	13.46
105	62210052	CINTA AISL. ROJO 3/4"20m 3M TEMFLEX1600	Rollo	16	62	38310	14.00	4.73	66.22
106	62210053	CINTA AISL. AZUL 3/4"20m 3M TEMFLEX1600	Rollo	16	62	38310	14.00	4.72	66.08
107	62210055	CINTA AISL. VERDE 3/4"20m 3M TEMFLEX1600	Rollo	16	62	38310	14.00	4.87	68.18
108	62210062	CINTA MASKING TAPE DE 1	Rollo	13	62	38310	11.00	2.69	29.59
109	62210069	Nomex Kapton Nom ex 0.25 910mm	Kg	74	62	38310	0.20	463.58	92.72
110	62211870	CINTA REMICAFLEX 0.14 X 3/4" X 50 MTS	Rollo	179	62	38310	1.00	44.16	44.16
111	62211892	CINTA AISLANTE COLOR NEGR 3M 1600	Pz	16	62	38310	13.00	4.82	62.66
112	62211895	CINTA AISLANTE COLOR AMAR 3M 1600	Pz	16	62	38310	4.00	4.67	18.68
113	62233160	CORDON DE VIDRIO DE 6MM .	Pz	1032	62	38310	20.19	6.83	137.90
114	62360021	LAMINA VETRONITE 10mm	Pz	340	62	38310	13.60	33.52	462.50
115	62360025	Plancha Vetronite 0.50mm	Pz	1032	62	38310	0.60	55.58	33.35
116	62360206	Placa Vetronite de 3 mm Clase F	Pz	165	62	38310	3.60	47.42	170.71
117	62360208	PLACA VETRONITE DE 1MM CLASE H	Pz	68	62	38310	4.05	83.70	338.99
118	62360209	PLACA VETRONITE DE 4MM CLASE H	Pz	100	62	38310	1.90	585.28	1112.03
119	63046305	APLICADOR DE SILICONA	Pz	55	62	38310	2.00	45.00	90.00
120	63190036	SPAGUETTI VIDRIO DE 22 MM CLASE F BARNIZADO	Mt	1396	62	38310	21.20	15.58	330.30
121	64000055	RETEN	Mt	174	62	38310	10.00	11.44	114.40
122	64008794	VRING VA-50	Pz	83	62	38310	8.00	4.19	33.52
123	64008797	VRING VA-45	Pz	150	62	38310	5.00	5.08	25.40
124	64008820	VRING VA-70 .	Pz	132	62	38310	2.00	8.56	17.12
125	64008883	SEGURO SEGGER A-160	Pz	598	62	38310	1.00	47.53	47.53
126	64008928	ANILLO SEGGER A-70	Pz	440	62	38310	1.00	4.38	4.38
127	64064429	PLANCHA DE NITRILO 3MM	Pz	454	62	38310	1.00	39.77	39.77
128	66100031	FRISA DE 3/8X1	Mt	181	62	38310	10.00	11.81	118.10
129	66100049	FRISA ESPONJOSA DE 1/4 X 1 1/4	Mt	181	62	38310	20.00	5.06	101.20
130	67106718	SILICONA GRIS ALTA TEMPE	Pz	74	62	38310	2.00	8.50	17.00
131	67200116	LOCTITE 401-40 SELLADOR	Pz	96	62	38310	9.00	42.61	383.49
132	67300004	COMPONENTE P/BALANCEO DINAMICO SAA00085	Lb	149	62	38310	30.00	46.81	1404.30
133	68306843	SOLVENTE ULTRA SOLVE 40	Gl	223	62	38310	20.00	82.80	1656.00
134	69600002	SOLDADURA SILFUS P-17 DE 3/32	Pz	146	62	38310	0.70	858.61	601.03
135	69700004	SOLDADURA DE PLATA 15P 3/32 PULGADAS	Kg	276	62	38310	0.20	683.98	136.80
136	69707100	SOLDADURA PLATA LEGAMAX 17P 3/32 PULG	Kg	324	62	38310	1.00	858.61	858.61
137	70020039	Terminal Talma de 25mm2 con hueco de 10mm	Pz	444	62	38310	48.00	2.67	128.16
138	70020041	Terminal Talma de 16mm2 con hueco de 8mm	Pz	179	62	38310	30.00	1.95	58.50
139	70020059	Terminal estañado 50mm con hueco de 10mm	Pz	591	62	38310	40.00	6.52	260.80
140	70022086	TERMINAL DE COMPRESION T70-10	Pz	37	62	38310	6.00	9.05	54.30
141	70022138	TERMINAL DE COMPRESION T10-6	Pz	571	62	38310	47.00	1.57	73.79
142	70022245	TERMINAL DE COMPRESION T35-12	Pz	171	62	38310	49.00	5.25	257.25
143	70037119	COMPENSADOR DE TRACCION HCC 4-SR PHOENIX	Pz	597	62	38310	7.00	4.54	31.78
144	70037120	INSERTO HEMBRA HCC 4-F PHOENIX CONTACT	Pz	597	62	38310	7.00	20.53	143.71
145	70200238	TERMINAL DE COMPRESION T50-10	Pz	179	62	38310	7.00	5.37	37.59
146	70740065	TERMINAL DE COMPRESION T35-10	Pz	4	62	38310	16.00	4.17	66.72
147	74000005	Cinta Aislante super 33	Pz	32	62	38310	9.00	15.24	137.16
148	74500490	ENCHUFE PLANO 2X15A + T N .	Pz	188	62	38310	4.00	5.74	22.96
149	77017730	PISTOLA DE CALOR 2300W 50 / 660C BOSCH GHG 660 LCD	Pz	759	62	38310	1.00	419.80	419.80
150	81009072	MAQUINA ENSUNCHADORA DE 2	Pz	117	62	38310	1.00	450.00	450.00
151	81500001	Brocha de 1 1/2"	Pz	2	62	38310	19.00	3.74	71.06
152	81500042	CINTA TEFLON 1/2 PULG	Rollo	377	62	38310	28.00	0.82	22.96
153	81508273	ESLINGAS	Pz	331	62	38310	5.00	19.31	96.55
154	81508434	ESLINGA CIRCULAR 2TNX2MT .	Pz	340	62	38310	7.00	34.52	241.64
155	81508435	ESLINGA DE POLIESTER OJO duplex de 1TNx2MT	Pz	122	62	38310	4.00	17.08	68.32
156	81508471	BALDE PLASTICO 1 GLN	Pz	48	62	38310	5.00	2.50	12.50

157	81508487	TOMACORRIENTE UNIVERSAL LEVITON	Pz	188	62	38310	10.00	8.32	83.20
158	81508512	STRECH FILM DE 18	Pz	5	62	38310	6.00	16.97	101.82
159	81508526	ESLINGA DE POLIESTER OJO duplex de 3TNx1MT	Pz	122	62	38310	6.00	18.43	110.58
160	81508674	ESLINGA CIRCULAR polyester de 3tn x 3mts	Pz	122	62	38310	2.00	72.11	144.22
161	81550101	Brocha de 2'	Pz	2	62	38310	6.00	5.38	32.28
162	81550706	Paño Duraclean Celeste Medida 30 x 40 cms.	Pz	2	62	38310	289.00	0.25	72.25
163	81555712	PAÑO FIBRASORB DOBLE 30X 30 CM	Pz	11	62	38310	399.00	0.36	143.64
164	82050256	TRAJE IMPERMEABLE BLANCO TALLA L	Pz	5	62	38310	6.00	15.95	95.70
165	82300133	GUANTE DE BADANA Talla M	Par	5	62	38310	2.13	9.44	20.11
166	82650025	CARTUCHO CONTRA VO Y GA .	Par	37	62	38310	3.00	30.40	91.20
167	82650032	ADAPTADOR PARA FILTROS .	Par	122	62	38310	13.00	8.69	112.97
168	82758276	RESPIRADOR LIBRE MANT. N95 contra polvos 9210	Pz	9	62	38310	1.00	8.09	8.09
169	82800051	Retenedor para filtros de alta eficiencia 3M 502	Pz	104	62	38310	24.00	3.55	85.20
VALOR TOTAL DE MATERIALES EN ALMACEN EN NUEVOS SOLES (S/.)									S/. 94,199.54
VALOR TOTAL DE MATERIALES EN ALMACEN EN EUROS €									€ 24,595.18

Anexo B. Formato de Informe Mecánico

INFORME TECNICO MECÁNICO						OS : <input style="width: 50px;" type="text"/>																																																																												
2	SERVICE TALLER	TIPO:	<input style="width: 100%;" type="text"/>		FECHA:	<input style="width: 100%;" type="text"/>																																																																												
CLIENTE		RPM:		POTENCIA																																																																														
<input style="width: 100%;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>																																																																														
ESTADO EN QUE SE ENCUENTRAN																																																																																		
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">1.- PLACA CARACTERÍSTICAS</td> <td style="width: 10%;">BIEN <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 10%;">No legible <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 10%;">NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2.-TAPA CAJA BORNERA</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>3.-CAJA BORNERA <input type="checkbox"/> CAVINA <input type="checkbox"/></td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>4.-TIENE BORNERA <input type="checkbox"/> AISLADOR <input type="checkbox"/></td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>5.-TIENE TAPAS DE INSPECC.? SI <input type="checkbox"/> Pzs.</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>6.-ESTADO CABLES DE CONEXION ?</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>7.-ANILLO ROZANTE <input type="checkbox"/> COLECTOR <input type="checkbox"/></td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>8.-FUNDA FVENTILAD <input type="checkbox"/> BOBINA <input type="checkbox"/></td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>9.- VENTILADOR INT. <input type="checkbox"/> EXT. <input type="checkbox"/></td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>10.-TIENE GRASERAS ? <input type="checkbox"/> Pz.</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>11.-VISORES DE ACEITE ? <input type="checkbox"/> Pz.</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>12.- TIENE ACEITERAS ? <input type="checkbox"/> Pz.</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>13.-DUCTOS GRASA <input type="checkbox"/> AIRE <input type="checkbox"/></td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>14.-TIENE ACOPLE <input type="checkbox"/> POLEA <input type="checkbox"/></td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>15.- TIENE PIÑON <input type="checkbox"/> IMPULSOR <input type="checkbox"/></td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>16.-TIENE SENSOR. DE TEMPERATURAS ?</td> <td>SI <input type="checkbox"/></td> <td>NO <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>17.-ESTADO DE LAS CHUMACERAS</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>18.-NECESITA REBABIT. CHUMACERAS</td> <td>SI <input type="checkbox"/></td> <td>NO <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>19.-ESTADO DE LOS RODAJES</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> </tr> </table>							1.- PLACA CARACTERÍSTICAS	BIEN <input type="checkbox"/>	No legible <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	2.-TAPA CAJA BORNERA	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	3.-CAJA BORNERA <input type="checkbox"/> CAVINA <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	4.-TIENE BORNERA <input type="checkbox"/> AISLADOR <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	5.-TIENE TAPAS DE INSPECC.? SI <input type="checkbox"/> Pzs.	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	6.-ESTADO CABLES DE CONEXION ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	7.-ANILLO ROZANTE <input type="checkbox"/> COLECTOR <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	8.-FUNDA FVENTILAD <input type="checkbox"/> BOBINA <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	9.- VENTILADOR INT. <input type="checkbox"/> EXT. <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	10.-TIENE GRASERAS ? <input type="checkbox"/> Pz.	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	11.-VISORES DE ACEITE ? <input type="checkbox"/> Pz.	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	12.- TIENE ACEITERAS ? <input type="checkbox"/> Pz.	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	13.-DUCTOS GRASA <input type="checkbox"/> AIRE <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	14.-TIENE ACOPLE <input type="checkbox"/> POLEA <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	15.- TIENE PIÑON <input type="checkbox"/> IMPULSOR <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	16.-TIENE SENSOR. DE TEMPERATURAS ?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>	17.-ESTADO DE LAS CHUMACERAS	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	18.-NECESITA REBABIT. CHUMACERAS	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>	19.-ESTADO DE LOS RODAJES	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>
1.- PLACA CARACTERÍSTICAS	BIEN <input type="checkbox"/>	No legible <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
2.-TAPA CAJA BORNERA	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
3.-CAJA BORNERA <input type="checkbox"/> CAVINA <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
4.-TIENE BORNERA <input type="checkbox"/> AISLADOR <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
5.-TIENE TAPAS DE INSPECC.? SI <input type="checkbox"/> Pzs.	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
6.-ESTADO CABLES DE CONEXION ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
7.-ANILLO ROZANTE <input type="checkbox"/> COLECTOR <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
8.-FUNDA FVENTILAD <input type="checkbox"/> BOBINA <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
9.- VENTILADOR INT. <input type="checkbox"/> EXT. <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
10.-TIENE GRASERAS ? <input type="checkbox"/> Pz.	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
11.-VISORES DE ACEITE ? <input type="checkbox"/> Pz.	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
12.- TIENE ACEITERAS ? <input type="checkbox"/> Pz.	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
13.-DUCTOS GRASA <input type="checkbox"/> AIRE <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
14.-TIENE ACOPLE <input type="checkbox"/> POLEA <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
15.- TIENE PIÑON <input type="checkbox"/> IMPULSOR <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
16.-TIENE SENSOR. DE TEMPERATURAS ?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
17.-ESTADO DE LAS CHUMACERAS	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
18.-NECESITA REBABIT. CHUMACERAS	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
19.-ESTADO DE LOS RODAJES	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
RECIBIDO																																																																																		
MARCA		SERIE		MARCA		SERIE																																																																												
LADO <input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>		LADO NO <input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>																																																																												
ACOPLE <input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>		ACOPLE <input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>																																																																												
EFECTUADO																																																																																		
MARCA		SERIE		MARCA		SERIE																																																																												
LADO <input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>		LADO NO <input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>																																																																												
ACOPLE <input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>		ACOPLE <input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 100%;" type="text"/>																																																																												
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">20.- RETENES COD. <input style="width: 50px;" type="text"/></td> <td style="width: 10%;">BIEN <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 10%;">MAL <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 10%;">NO TIENE <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 10%;">DIAMETRO <input style="width: 50px;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>21.- O-RING</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> <td>DIAMETRO <input style="width: 50px;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>22.- V- RING V - A <input type="checkbox"/> V - S <input type="checkbox"/></td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> <td>DIAMETRO <input style="width: 50px;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>23.- SELLO MECÁNICO</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> <td>CODIGO <input style="width: 50px;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>24.- CONTRTATAPA ? EXTERNAS</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">INTERNAS</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25.-JUEGO AXIAL MOTOR VERTICAL</td> <td>RECEP. <input style="width: 50px;" type="text"/></td> <td>SALE <input style="width: 50px;" type="text"/></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>26.-TIENE RESORT. PRECARGA ?</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>27.-ESTADO DE ANILLOS SEGGER ?</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>28.-ESTADO TUERCAS D.SEGURO ?</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>29.-ESTADO ARAND. DE CIERRE ?</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>30.-TIENE LABERINTO DE GRASA ?</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>Pzs. <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>31.-DISTANCIA DEL ACOPLE AL EJE <input style="width: 50px;" type="text"/></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">DEL EJE AL ACOPLE <input style="width: 50px;" type="text"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>32.-TIENE SISTEMA DE FRENO ?</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>33.- SISTEMA DE PORT. DIODOS ?</td> <td>BIEN <input type="checkbox"/></td> <td>MAL <input type="checkbox"/></td> <td>NO TIENE <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table>								20.- RETENES COD. <input style="width: 50px;" type="text"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	DIAMETRO <input style="width: 50px;" type="text"/>	21.- O-RING	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	DIAMETRO <input style="width: 50px;" type="text"/>	22.- V- RING V - A <input type="checkbox"/> V - S <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	DIAMETRO <input style="width: 50px;" type="text"/>	23.- SELLO MECÁNICO	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	CODIGO <input style="width: 50px;" type="text"/>	24.- CONTRTATAPA ? EXTERNAS	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>		INTERNAS	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>		25.-JUEGO AXIAL MOTOR VERTICAL	RECEP. <input style="width: 50px;" type="text"/>	SALE <input style="width: 50px;" type="text"/>			26.-TIENE RESORT. PRECARGA ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>		27.-ESTADO DE ANILLOS SEGGER ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>		28.-ESTADO TUERCAS D.SEGURO ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>		29.-ESTADO ARAND. DE CIERRE ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>		30.-TIENE LABERINTO DE GRASA ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>		31.-DISTANCIA DEL ACOPLE AL EJE <input style="width: 50px;" type="text"/>	DEL EJE AL ACOPLE <input style="width: 50px;" type="text"/>				32.-TIENE SISTEMA DE FRENO ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>		33.- SISTEMA DE PORT. DIODOS ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	
20.- RETENES COD. <input style="width: 50px;" type="text"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	DIAMETRO <input style="width: 50px;" type="text"/>																																																																														
21.- O-RING	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	DIAMETRO <input style="width: 50px;" type="text"/>																																																																														
22.- V- RING V - A <input type="checkbox"/> V - S <input type="checkbox"/>	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	DIAMETRO <input style="width: 50px;" type="text"/>																																																																														
23.- SELLO MECÁNICO	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>	CODIGO <input style="width: 50px;" type="text"/>																																																																														
24.- CONTRTATAPA ? EXTERNAS	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
INTERNAS	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
25.-JUEGO AXIAL MOTOR VERTICAL	RECEP. <input style="width: 50px;" type="text"/>	SALE <input style="width: 50px;" type="text"/>																																																																																
26.-TIENE RESORT. PRECARGA ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
27.-ESTADO DE ANILLOS SEGGER ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
28.-ESTADO TUERCAS D.SEGURO ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
29.-ESTADO ARAND. DE CIERRE ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
30.-TIENE LABERINTO DE GRASA ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	Pzs. <input type="checkbox"/>																																																																															
31.-DISTANCIA DEL ACOPLE AL EJE <input style="width: 50px;" type="text"/>	DEL EJE AL ACOPLE <input style="width: 50px;" type="text"/>																																																																																	
32.-TIENE SISTEMA DE FRENO ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															
33.- SISTEMA DE PORT. DIODOS ?	BIEN <input type="checkbox"/>	MAL <input type="checkbox"/>	NO TIENE <input type="checkbox"/>																																																																															

34.- DIAMETRO INTERIOR DE LAS TAPAS EL ALOJAMIENTO DE LOS RODAJES. (mm)										CONICO	
LADO	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	LADO NO	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	SW 07			
ACOPLE	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>	ACOPLE	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>				
NESECITA METALIZAR ?		SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>			LA	<input type="checkbox"/>	LNA	<input type="checkbox"/>
35.- DIAMETRO DE EJE ASIENTO DE RODAJE <input type="checkbox"/> MONTAD. <input type="checkbox"/> CHUMAC. <input type="checkbox"/>											
LADO	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	LADO NO	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	SW 02			
ACOPLE	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>	ACOPLE	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>				
NESECITA METALIZAR ?		SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	L.A.	<input type="checkbox"/>	L.N.A.	<input type="checkbox"/>		
36.- CAMBIO DEL EJE ?		SI	<input type="checkbox"/>	ROTU.	<input type="checkbox"/>	RAJAD.	<input type="checkbox"/>	TORCED.	<input type="checkbox"/>		
37.- DIAMETRO INTERIOR DE MONTADURA Y ASIENTO DE RODAJE											
MONTAD. SW 07	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	RODAJE SW 02	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>				
	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>		<input type="text"/>	-	<input type="text"/>				
METALIZADO <input type="checkbox"/>		EMBOC.	<input type="checkbox"/>	CAMB.	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	CERAMICA	<input type="checkbox"/>	METALIZADO
38.- DIAMETRO INTERIOR DE LAS CHUMACERAS											
LADO	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	LADO NO	<input type="text"/>	+	<input type="text"/>	SW 07			
ACOPLE	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>	ACOPLE	<input type="text"/>	-	<input type="text"/>				
39.- CONTROL DE ULTRASONIDO EJE		SI	<input type="checkbox"/>	TERCERO	<input type="checkbox"/>						
40.- CONTROLAR DEFLEXION DE EJE		BIEN	<input type="checkbox"/>	MAL	<input type="checkbox"/>	PUNTOS MEDIDOS					
LA						1	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>		
						2	<input type="text"/>	5	<input type="text"/>		
						3	<input type="text"/>	6	<input type="text"/>		
41.-RECTIFICAR		ANILLO ROZANTE		<input type="checkbox"/>	COLECTOR		<input type="checkbox"/>				
42.- BALANCEO DINÁMICO		SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>	VERIFIC.	<input type="checkbox"/>				
43.- ESTADO DE PORTAESCOBILLAS		BIEN	<input type="checkbox"/>	MAL	<input type="checkbox"/>	FALTA	<input type="checkbox"/>				
44.-ESTAD. FLEJES <input type="checkbox"/> RESORT. <input type="checkbox"/>		BIEN	<input type="checkbox"/>	MAL	<input type="checkbox"/>	CANTIDA	<input type="text"/>				
45.-ESTADO DE LOS BRAZOS		BIEN	<input type="checkbox"/>	MAL	<input type="checkbox"/>	CANTIDA	<input type="text"/>				
46.- ESTADO DE LOS CARBONES		BIEN	<input type="checkbox"/>	MAL	<input type="checkbox"/>						
CODIGO	<input type="text"/>	CANTIDA	<input type="text"/>	LARG.	<input type="text"/>	ANCHO	<input type="text"/>	ESPEZOR	<input type="text"/>		
RESUMEN Y RECOMENDACIONES											
Cambio de rodajes	Cambio de Laberintos C/ Resortes					Cambio / Limpieza Portaescobillas					
Cambio de carbones	Cambiar eje					Camb.resortes/Flejes /Dedos de presión					
Cambio de retenes	Cambio de Tapa(s) / Ventilador					Camb.Tuerca seguro Rodaje/Arand.cierre					
Cambio de O-rngs.	Cambiar Funda protec.Ventil./ Bobin.					Metalizar Tapa aloj. rodaje LA <input type="checkbox"/> LNA <input type="checkbox"/>					
Cambio de V-rings.	Cambiar Anillos Rozantes / Colector					Metaliz Eje Asiento Rodaje LA <input type="checkbox"/> LNA <input type="checkbox"/>					
Camb.anill.segger	Cambiar Pernos/ Arandelas /Tuercas					Metalizar Eje Asiento Cople / Montadura					
Cambio de Grasea	Cambiar Visores de Aceite					Rebabitado de Chumaceras					
Camb.Sensor.Temp.	Rectificar Anillos Rozantes / Colector					Balanceo Dinámico					
Camb.Visor Aceite	Cambio de sello mecánico					Limpieza General					
Obser: _____											
SUMINISTROS											
F. PEDIDO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN					CLIENTE				
OPERARIO: _____		V.B. _____					SUPERVISOR : _____		V.B. _____		

Anexo C. Tabla de tolerancia de ajustes para cojinetes planos en asientos de eje. (RENK, n.d.)

Bearing Clearances

The bearing bores are made according to the basic bore system specified in DIN EN ISO 286-1, with tolerance field H 7. The bearing clearance has to be considered within the shaft tolerance. The shaft tolerances for 5 different relative bearing clearances ψ_m can be obtained from DIN 31698 (see extract).

For normal operating conditions, the following recommendation applies for the choice of mean bearing clearance ψ_m , in relation to peripheral velocity v :

This table does not take into account any extraordinary factors, such as, for example:

- high shaft temperature within the bearing in case of heat transfer through the shaft
- considerable elastic deformation through loading of the bearing
- particularly high or low viscosity lubricants - thermal deformation or greatly varying expansion of journal and bearing shells.

v [m/s]	ψ_m [%] cyl. bearing \varnothing ... 100	D [mm] > 100...250	>250
... 3	1,32	1,12	1,12
> 3...10	1,6	1,32	1,12
>10...25	1,9	1,6	1,32
>25...50	2,24	1,9	1,6

Nominal shaft range [mm]		Permissible deviations of the shaft in μm for ψ_m [%]					
over	up to	1,12	1,32	1,6	1,9	2,24	
70	80	- 60 - 79	- 75 - 94	- 96 - 115	- 118 - 137	- 144 - 163	
80	90	- 67 - 89	- 84 - 106	- 108 - 130	- 133 - 155	- 162 - 184	
90	100	- 78 - 100	- 97 - 119	- 124 - 146	- 152 - 174	- 184 - 206	
100	110	- 89 - 111	- 110 - 132	- 140 - 162	- 171 - 193	- 207 - 229	
110	120	- 100 - 122	- 122 - 145	- 156 - 178	- 190 - 212	- 229 - 251	
120	140	- 113 - 138	- 139 - 164	- 176 - 201	- 215 - 240	- 259 - 284	
140	160	- 136 - 161	- 166 - 191	- 208 - 233	- 253 - 278	- 304 - 329	
160	180	- 158 - 183	- 192 - 217	- 240 - 265	- 291 - 316	- 348 - 373	
180	200	- 175 - 204	- 213 - 242	- 267 - 296	- 324 - 353	- 388 - 417	
200	225	- 201 - 230	- 243 - 272	- 303 - 332	- 366 - 395	- 439 - 468	
225	250	- 229 - 258	- 276 - 305	- 343 - 372	- 414 - 443	- 495 - 524	
250	280	- 255 - 287	- 308 - 340	- 382 - 414	- 462 - 494	- 552 - 584	
280	315	- 291 - 323	- 351 - 383	- 434 - 466	- 523 - 555	- 624 - 656	

Shaft tolerances to DIN 31698

Anexo D. Formato de datos técnicos para selección de escobillas.

**HOJA DE DATOS TÉCNICOS PARA SER LLENADO AL
SOLICITAR ESCOBILLAS DE CARBÓN**

A) Datos del Solicitante

Razón Social:	
Persona de contacto:	Nº de Req. OT ú Ord. de Serv.:
Nº escobillas solicitadas	Pzs. Fecha:

B) Datos para diseño de escobilla

01) Fabricación según diseño Nº	08) Diámetro del cable conductor (Flexible) Ø ____ mm.
02) Dimensiones en mm.: Espesor ____ Ancho ____ Longitud ____	09) Tipo de cable: Estañado ____, Aislado ____, Desnudo ____
03) Ángulo en Superficie de contacto 7.5° (____) 10° (____) 15° (____) 20° (____) 30° (____)	10) Tipo de Terminal : Nº ____
04) Ángulo en cara superior de escobilla 7.5° (____) 10° (____) 15° (____) 20° (____) 30° (____)	11) Ancho de terminal : ____ mm.
05) Diámetro conmutador o anillo: Ø	12) Ø Tornillo: ____ mm. ____ Pulgada
06) Ranura en superficie de contacto: sí ____, no ____	13) Terminal enchufe macho: Dibujo Nº ____, Ancho ____
07) Long. cable (considerar el cable visible) ____ mm.	14) Terminal enchufe hembra: Dibujo Nº ____, Ancho ____

C) Datos para determinar grado:

15) Fabricante de la máquina	23) Número de escobillas por Conmutador: ____
16) Máquina	24) Número de escobillas por anillo ____
17) Superficie de trabajo: Conmutador (____) Anillos Rozantes (____)	25) Grado Utilizado hasta el momento ____
18) Tipo de máquina: Motor (____), Generador (____), Otros (____)	36) Observaciones: ¿Trabaja bien la escobilla? ____ ¿Como esta el colector? ____ ¿cómo está el anillo? ____ ¿Calienta la escobilla? ____ ¿Hay chispas? ____ Otros: ____
19) Corriente: Continua (____), Alterna (____)	
20) Velocidad ____ RPM	
21) Tensión: ____ Voltios	
22) Densidad: ____ Amperios	

Anexo E. Formato de informe de evaluación eléctrica.

CLIENTE											O.S.		
MARCA			FASES		F.S.		V.D.V. Si/No	-	Pot.			KW	
FRAME			REGIMEN		Cosφ		EX. MOTOR	-	Vprim			V	
TIPO			CL. AISL.		Efic.		ZONA	-	Iprim			A	
N° SERIE			T.Amb.Max		I.P.		GRUPO	-	V sec			V	
REF. Clien.			T. Operación		Peso(Kg)		M.S.N.M.	-	I sec			A	
O.S. Ant.							f (Hz)		n			RPM	

ACCESORIOS						TAREA : R: REPARAR M: MANTENIMIENTO C: CAMBIAR							
DESCRIPCIÓN	N°	N° BIEN	TAREA	N° MAL	TAREA	NO TIENE	DESCRIPCIÓN	N°	N° BIEN	TAREA	N° MAL	TAREA	NO TIENE
PLACA CARACTERÍSTICA PRINC.							LISTÓN BORNERAS						
CAJA DE CONEXIONES SENSORES							AIISLADORES						
PARARRAYOS							CONDENSADOR						
PLATINAS DE CONEXIONES							TERMINALES PRINC.						
CAJA DE CONEXIONES SENSORES							CABLES DE SALIDA PRINCIPALES						
PLACAS AUX.													

Observaciones

Recomendación

BOBINADO DEL ESTATOR													
R. AISLAMIENTO		UVW - G	con	VDC	Tamb	°C	Hr (%)	Tbob	°C	I.A.	I.P.	CAP.	nF
30°(MΩ)	1°(MΩ)	2°(MΩ)	3°(MΩ)	4°(MΩ)	5°(MΩ)	6°(MΩ)	7°(MΩ)	8°(MΩ)	9°(MΩ)	10°(MΩ)			
U-V	MΩ	V-W	MΩ	U-W	MΩ	Equipos		Operario		Fecha			
RESISTENCIA Ω		Tamb	°C	Tbob	°C	Hr (%)	U1-U2	Ω	V1-V2	Ω	N1-W2	Ω	
IMPEDANCIA Z		Tensión	V	Corriente	A	f (Hz)	Pot.	kW					
P.F.	Polaridad	Simetría		Mapeo de Cuñas	Tamb	°C	Hr (%)	Tbob	°C				
HIPOT Y SURGE		Mant.	Si	No	Hipot Volt.	kV	UVW-G (1' y 3')	MΩ	DAR	I _f	uA		
Surge Volt.	kV	%Error	1 - 2	2 - 3	1 - 3	Equipo		Operario		Fecha			

Observaciones

Recomendación

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN											
Tensión / Estator		V	Corriente / Estator	A							
Tensión / Estator		V	f (Hz)	Equipos		Operario		Fecha			

NÚCLEO MAGNÉTICO														
L. Total		cm	N° Ductos	L. Activa	cm	Alt. Corona	Ø Int	cm	Ø Ext	cm				
P. Diente	cm	N° de Esp.	T/Espira	V	Tensión	V	Corriente	A	Tamb	°C	Tmin	°C	Tmax	°C
Pot.	kW	F	Hz	% a Reparar	-	Equipos	TR044	TR093		Operario		Fecha		

Observaciones

Recomendación

BOBINADO DEL ROTOR													
R. AISLAMIENTO		UVW - G	con	VDC	Tamb	°C	Hr (%)	Tbob	°C	I.A.	I.P.	CAP.	nF
30°(MΩ)	1°(MΩ)	2°(MΩ)	3°(MΩ)	4°(MΩ)	5°(MΩ)	6°(MΩ)	7°(MΩ)	8°(MΩ)	9°(MΩ)	10°(MΩ)			

U-V		-	MΩ	V-W	-	MΩ	U-W	-	MΩ	Equipos		Operario		Fecha		
RESISTENCIA Ω		Tamb	°C	Tbob	°C	Hr (%)		K-L	Ω	L-M	Ω	M-K	Ω			
										Equipos		Operario		Fecha		
IMPEDANCIA Z		Tensión		V	Corriente		A	f (Hz)		Pot.		kW				
P.F.		Polaridad		Simetria		Mapeo de Cuñas		Tamb	°C	Hr (%)		Tbob	°C			
										Equipos	TR093	TR044	Operario		Fecha	
HIPOT Y SURGE		Mant.	Si	No		Hipot Volt.		kV	UVW-G (1' y 3')		MΩ	DAR		I _f	uA	
Surge Volt.			kV	%Error	1 - 2		2 - 3		1 - 3		Equipo		Operario		Fecha	
Observaciones																
Recomendación																

ANILLOS ROZANTES																	
R. AISLAMIENTO		con	1000	VDC	Tamb	22	°C	Tanillo	19	°C	Equipo	TR092	Operario	J.Paz	Fecha	30/01/2020	
1 - Masa (1')		12.35	MΩ	I.A.		2 - Masa (1')			MΩ	I.A.		3 - Masa (1')			MΩ	I.A.	
1 - 2 (1')			MΩ	I.A.		2 - 3 (1')			MΩ	I.A.		1 - 3 (1')			MΩ	I.A.	
Observaciones																	
Recomendación																	

SISTEMA PORTAESCOBILLAS																																																																																																				
R. AISLAMIENTO		con		VDC	Tamb		°C	Tanillo		°C	Equipo		Operario		Fecha																																																																																					
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>																																																																																																				
N° de Brazos			N° de Cajetines		N° de Escobillas		Medidas		x		x		mm																																																																																							
PE. A Masa			MΩ	I.A.		Entre/ P.E.		MΩ	I.A.																																																																																											
Observaciones																																																																																																				
Recomendación																																																																																																				

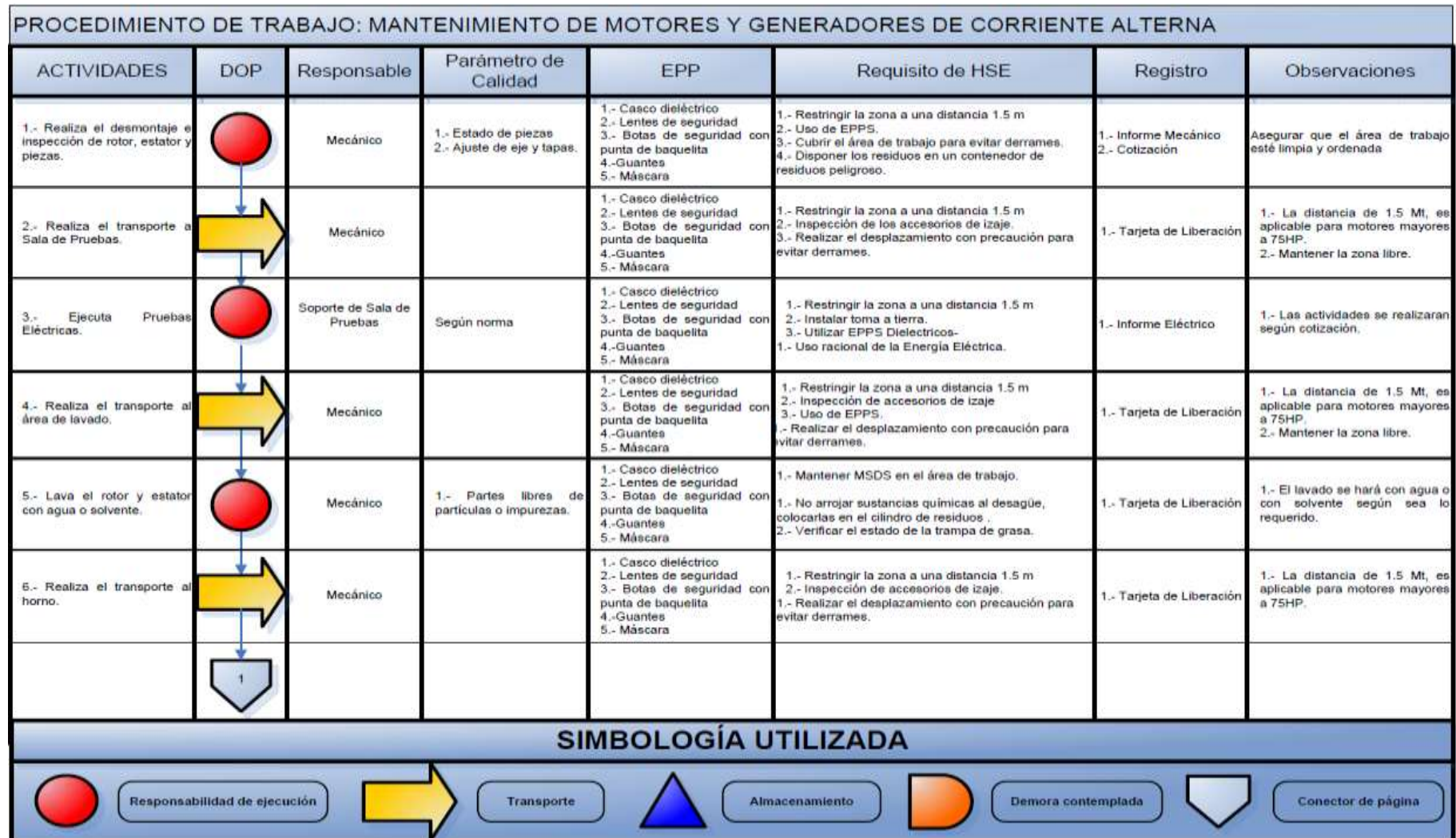
SENSOR DE TEMPERATURA															
TIPO: (1)Pt-100 (2)RTD Cu 10 (3)Termistor (4)Termostato/ TAREA: R: REPARAR C: CAMBIAR S:SUMINISTRO															
UBICACIÓN	N°	Tipo	N° BIEN	TAREA	N° MAL	TAREA	NO TIENE	TAREA	Cable	Long. (mm)	Ubic. Salida (LA/LNA)	Terminales			
BOBINADO															
RODAMIENTO LA															
RODAMIENTO LNA															
CARCASA															
										Equipos		Operario		Fecha	
Observaciones															
Recomendación															

RESISTENCIA DE CALEFACCIÓN															
TAREA: R: REPARAR C: CAMBIAR S:SUMINISTRO M: MANTENIMIENTO															
Tipo	N°	N° BIEN	TAREA	N° MAL	TAREA	NO TIENE	Voltage de Prueba (V)	Resistencia (MΩ)	Resistencia Ohmica (Ω)	Voltage de Operación (V)	Ubic.	Pot. (W)			
BALLONETA															
BALLONETA															
Cables Tipo	N°	N° BIEN	TAREA	N° MAL	TAREA	NO TIENE	Long. (M)	Calibre	Ubic. Salidas (LC/LNC)	Terminales					
12 AWG CON FORRO DE VIDRIO															
Observaciones															
Recomendación															








Anexo F. Tabla de valores de temperatura y lectura de resistencia óhmica de sensor de temperatura PT100. (ARIAN, 2011)

Pt 100 ohms										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09
240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94
270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53
280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Anexo G. Diagrama de flujo de mantenimiento de motores síncronos en taller.

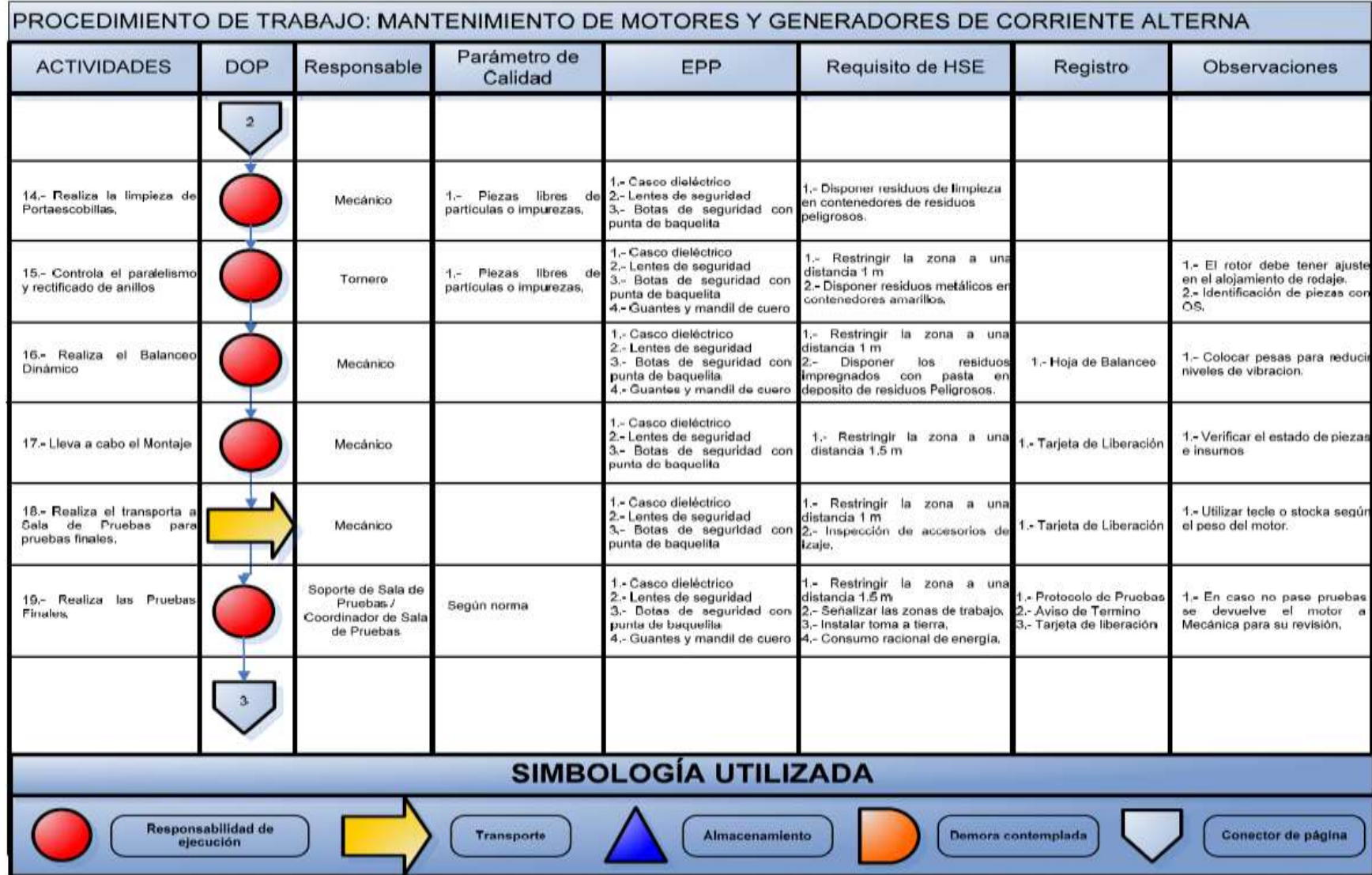


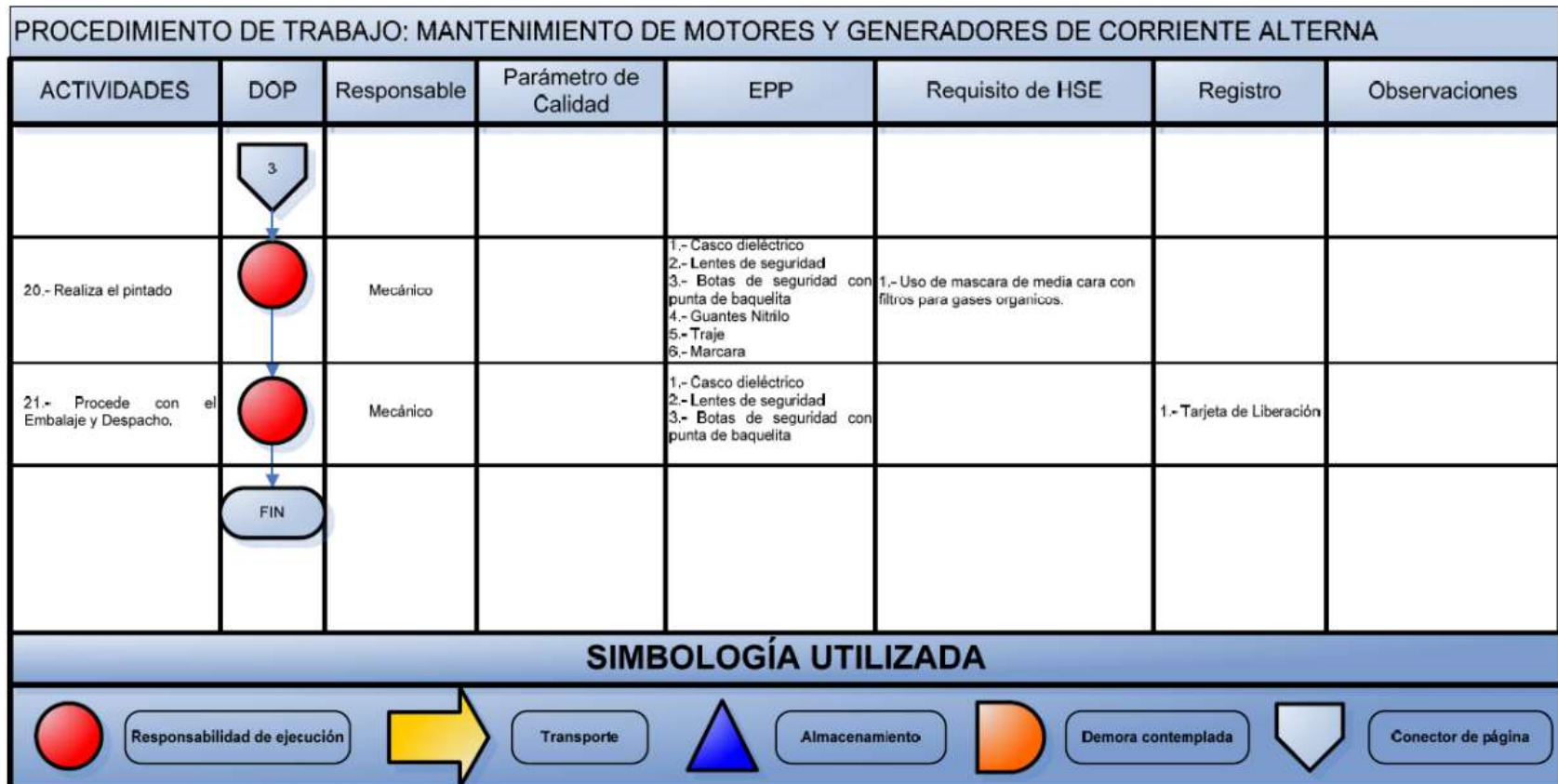
PROCEDIMIENTO DE TRABAJO: MANTENIMIENTO DE MOTORES Y GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA

ACTIVIDADES	DOP	Responsable	Parámetro de Calidad	EPP	Requisito de HSE	Registro	Observaciones
	1						
7.- Realiza el homeado de estator y rotor.		Mecánico		1.- Casco dieléctrico 2.- Lentes de seguridad 3.- Botas de seguridad con punta de baquelita	1.- Mantener fuera del alcance del tránsito, superficies calientes. 1.- Uso adecuado de Energía Eléctrica.	1.- Tarjeta de Liberación	
8.- Transporta el estator a Sala de Pruebas para pruebas de aislamiento.		Mecánico	Según norma	1.- Casco dieléctrico 2.- Lentes de seguridad 3.- Botas de seguridad con punta de baquelita	1.- Restringir la zona a una distancia 1.5 m 2.- Inspección de accesorios de izaje.	1.- Tarjeta de Liberación	1.- La distancia de 1.5 Mt, es aplicable para motores mayores a 75HP.
9.- Realiza pruebas previas.		Coordinador de Sala de Pruebas		1.- Casco dieléctrico 2.- Lentes de seguridad 3.- Botas de seguridad con punta de baquelita	1.- Restringir la zona a una distancia 1.5 m 2.- Restringir el ingreso a sala de pruebas. 3.- Instalación puesta a tierra. 4.- Uso racional de Energía Eléctrica.	1.- Informe Interno de Sala de Pruebas.	1.- La distancia de 1.5 Mt, es aplicable para motores mayores a 75HP.
10.- Homea el estator		Mecánico		1.- Casco dieléctrico 2.- Lentes de seguridad 3.- Botas de seguridad con punta de baquelita	1.- Mantener fuera del tránsito de superficies calientes. 2.- Uso adecuado de Energía Eléctrica. 3.- Respetar el tiempo de homeado necesario.	1.- Tarjeta de Liberación	
11.- Barniza el rotor y estator.		Mecánico	1.- Partes libres de partículas o impurezas.	1.- Casco dieléctrico 2.- Lentes de seguridad 3.- Botas de seguridad con punta de baquelita 4.- Mascara de cara	1.- Restringir la zona a una distancia 1 m 2.- Uso de mascarara de media cara con filtros de gases orgánicos. 3.- Con estatores pequeños colocar plástico. 4.- Con estatores grandes colocarlos sobre una bandeja. 5.- Utilizar una zona bien ventilada.	1.- Tarjeta de Liberación	1.- Aplicar barniz secado al aire.
12.- Transporta el rotor y estator ya listos al área de montaje.		Mecánico	1.- Rotor y estator barnizado. 2.- Limpieza.	1.- Casco dieléctrico 2.- Lentes de seguridad 3.- Botas de seguridad con punta de baquelita	1.- Restringir la zona a una distancia 1.5 m 2.- Inspección de accesorios de izaje.	1.- Tarjeta de Liberación	1.- La distancia de 1.5 Mt, es aplicable para motores mayores a 75HP.
13.- Realiza el lavado de Piezas.		Mecánico	1.- Piezas libres de partículas o impurezas.	1.- Casco dieléctrico 2.- Lentes de seguridad 3.- Botas de seguridad con punta de baquelita 4.- Mascara de cara	1.- Uso de insumos necesarios. 2.- Cerrar tapa de equipo de lavado cuando no lo estén utilizando.	1.- Tarjeta de Liberación	1.- Piezas marcadas e identificadas con la orden correspondiente.
	2						

SIMBOLOGÍA UTILIZADA







Anexo H. Plan de Mantenimiento Preventivo de motor eléctrico síncrono.

SISTEMA	OPERACIÓN	CÓDIGO	PERIODO	GAMA	REPUESTO	HERRAMIENTA O EQUIPO	Nro OPERARIOS	TIEMPO ASIGNADO	COSTE REPUESTO (€)	COSTE M.O. (30€/h)	COSTE TOTAL (€)
ESTATOR	LIMPIEZA DE ESTATOR	OS-ES-01	10000 Hr	D		ASPIRADORA INDUSTRIAL	2	2	0.00 €	120.00 €	120.00 €
ESTATOR	VERIFICACIÓN DE FIJACIÓN DE TERMINALES DE ESTATOR	OS-ES-03	10000 Hr	D		LLAVE HEXAGONAL	1	0.5	0.00 €	15.00 €	15.00 €
ROTOR	LIMPIEZA DE ROTOR	OS-RO-01	10000 Hr	D		ASPIRADORA INDUSTRIAL	2	2	0.00 €	120.00 €	120.00 €
CAJA DE GRASA	CAMBIO DE ACEITE	OS-CG-04	20000 Hr	E	ACEITE MOBIL DTE 26	EMBUDO MANGUERA	1	3	750.00 €	90.00 €	840.00 €
CAJA DE GRASA	CAMBIO DE COJINETES	OS-CG-05	50000 Hr	G	COJINETES DE CAJA DE GRASA	HERRAMIENTAS DE DESMONTAJE	3	12	12,000.00 €	1,080.00 €	13,080.00 €
CAJA DE GRASA	CAMBIO DE SENSORES DE TEMPERATURA	OS-CG-06	30000 Hr	F	SENSORES DE TEMPERATURA PT100	LLAVE HEXAGONAL	2	2	2,400.00 €	120.00 €	2,520.00 €
INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE - AIRE	LIMPIEZA DE LOS TUBOS DE VENTILACION	OS-IC-01	10000 Hr	D		ASPIRADORA INDUSTRIAL, MANGUERA AIRE A PRESIÓN	2	2	0.00 €	120.00 €	120.00 €
INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE - AIRE	MANTENIMIENTO DE MOTORES VENTILADOR	OS-IC-03	20000 Hr	E	RODAMIENTOS	EXTRACTOR DE RODAMIENTOS, HERRAMIENTAS DE DESMONTAJE DE MOTORES	2	25	360.00 €	1,500.00 €	1,860.00 €
INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE - AIRE	CONTROL DE AJUSTE PERNOS DE FIJACION DE MOTORES VENTILADOR	OS-IC-04	4000 Hr	C		TORQUIMETRO, LLAVE HEXAGONAL	2	2	0.00 €	120.00 €	120.00 €
CAJA DE CONEXIONES CABLES Y PUESTA A TIERRA	LIMPIEZA AL INTERIOR DE LA CAJA DE CONEXIONES	OS-CC-01	10000 Hr	D		ASPIRADORA INDUSTRIAL	1	0.5	0.00 €	15.00 €	15.00 €
CAJA DE CONEXIONES CABLES Y PUESTA A TIERRA	AJUSTE DE TORNILLOS Y PUNTOS DE CONEXIÓN.	OS-CC-02	10000 Hr	D		LLAVE HEXAGONAL	1	1	0.00 €	30.00 €	30.00 €

PORTAESCOBILLAS, ESCOBILLAS Y ANILLOS ROZANTES	INSPECCION Y LIMPIEZA DE COMPARTIMIENTO DE SISTEMA PORTAESCOBILLAS	OS-PA-01	160 Hr	A		ASPIRADORA INDUSTRIAL	1	2	0.00 €	60.00 €	60.00 €
PORTAESCOBILLAS, ESCOBILLAS Y ANILLOS ROZANTES	CAMBIO DE ESCOBILLAS	OS-PA-03	1000 Hr	B	ESCOBILLAS (30)	VISUAL, MANUAL	2	6	2,100.00 €	360.00 €	2,460.00 €
PORTAESCOBILLAS, ESCOBILLAS Y ANILLOS ROZANTES	CAMBIO DE RESORTES DE PRESION CONSTANTE	OS-PA-04	10000 Hr	D	RESORTES DE PRESION CONSTANTE	LLAVES HEXAGONALES	2	6	1,500.00 €	360.00 €	1,860.00 €
SISTEMA PROTECCION Y CONTROL	PRUENA DE FUNCIONAMIENTO	OS-SP-01	10000 Hr	D		MULTÍMETRO	1	1	0.00 €	30.00 €	30.00 €
SISTEMA PROTECCION Y CONTROL	DESMONTAJE Y PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	OS-SP-02	30000 Hr	F		VISUAL, EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN	2	10	0.00 €	600.00 €	600.00 €
SISTEMA PROTECCION Y CONTROL	CAMBIO DE RESISTENCIAS DE CALEFACCION	OS-SP-03	30000 Hr	F	RESISTENCIA DE CALEFACCIÓN	DESARMADOR	1	2	3,000.00 €	60.00 €	3,060.00 €

RELACION DE GAMAS DE MANTENIMIENTO							
PERIODO (HORAS)	GAMA	OPERACIONES	COSTE M.O. OPERACIONES	COSTE REPUESTO OPERACIONES	COSTE M.O. GAMA	COSTE REPUESTO GAMA	COSTO TOTAL GAMA
160	A	OS-PA-01	60.00 €	0.00 €	60.00 €	0.00 €	60.00 €
1000	B	OS-PA-03	360.00 €	2,100.00 €	360.00 €	2,100.00 €	2,460.00 €
4000	C	OS-IC-04	120.00 €	0.00 €	120.00 €	0.00 €	120.00 €
10000	D	OS-ES-01	120.00 €	0.00 €	810.00 €	1,500.00 €	2,310.00 €
		OS-ES-03	15.00 €	0.00 €			
		OS-RO-01	120.00 €	0.00 €			
		OS-IC-01	120.00 €	0.00 €			
		OS-CC-01	15.00 €	0.00 €			
		OS-CC-02	30.00 €	0.00 €			
		OS-PA-04	360.00 €	1,500.00 €			
20000	E	OS-SP-01	30.00 €	0.00 €	1,590.00 €	1,110.00 €	2,700.00 €
		OS-CG-04	90.00 €	750.00 €			
30000	F	OS-IC-03	1,500.00 €	360.00 €	780.00 €	5,400.00 €	6,180.00 €
		OS-CG-06	120.00 €	2,400.00 €			
		OS-SP-02	600.00 €	0.00 €			
50000	G	OS-SP-03	60.00 €	3,000.00 €	1,080.00 €	12,000.00 €	13,080.00 €
		OS-CG-05	1,080.00 €	12,000.00 €			

PLANIFICACION DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA FUNCIONAMIENTO ANUAL DE 8000 HR															
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
HORAS FUNC.	8,000	16,000	24,000	32,000	40,000	48,000	56,000	64,000	72,000	80,000	88,000	96,000	104,000	112,000	120,000
GAMAS	50A 8B 2C	50A 8B 2C D	50A 8B 2C D E	50A 8B 2C D F	50A 8B 2C D E	50A 8B 2C	50A 8B 2C D G	50A 8B 2C D E F	50A 8B 2C D	50A 8B 2C D E	50A 8B 2C	50A 8B 2C D F	50A 8B 2C D E G	50A 8B 2C D	50A 8B 2C D E F
C. REPUESTOS	16,800	18,300	19,410	23,700	19,410	16,800	30,300	24,810	18,300	19,410	16,800	23,700	31,410	18,300	24,810
C. M.O.	6,120	6,930	8,520	7,710	8,520	6,120	8,010	9,300	6,930	8,520	6,120	7,710	9,600	6,930	9,300
C. ANUAL	22,920	25,230	27,930	31,410	27,930	22,920	38,310	34,110	25,230	27,930	22,920	31,410	41,010	25,230	34,110
C. ACUMULADO	22,920	48,150	76,080	107,490	135,420	158,340	196,650	230,760	255,990	283,920	306,840	338,250	379,260	404,490	438,600

Anexo I. Plan de Mantenimiento Predictivo para motor eléctrico síncrono.

SISTEMA	OPERACIÓN	CÓDIGO	PERIODO	GAMA	HERRAMIENTA O EQUIPO	Nro OPERARIOS	TIEMPO ASIGNADO	COSTE M.O. (30€/h)	COSTE TOTAL (€)
ESTATOR	INSPECCIÓN DE CUÑAS DE RANURA	OS-ES-02	30000 Hr	F	VISUAL AIR GAP INSPECTOR	3	12	1,080.00 €	1,080.00 €
ESTATOR	MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR), IP, IA	OS-ES-04	10000 Hr	D	MEGOHMETRO	1	2	60.00 €	60.00 €
ROTOR	INSPECCION VISUAL	OS-RO-02	10000 Hr	D	VISUAL	1	1	30.00 €	30.00 €
ROTOR	INSPECCION DE EJE (DESGASTE)	OS-RO-03	30000 Hr	F	VISUAL, MICROMETRO DE EXTERIORES	3	8	720.00 €	720.00 €
ROTOR	MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR), IP, IA	OS-RO-04	10000 Hr	D	MEGOHMETRO	1	2	60.00 €	60.00 €
ROTOR	CONTROL DE ULTRASONIDO DE EJE	OS-RO-05	50000 Hr	G	ULTRASONIDO	2	5	300.00 €	300.00 €
CAJA DE GRASA	CONTROL DE VIBRACIONES RUÍDO FLUJO DE ACEITE, PÉRDIDAS Y TEMPERATURA	OS-CG-01	160 Hr	A	SONÓMETRO, VIBROMETRO, VISUAL, PIROMETRO	1	2	60.00 €	60.00 €
CAJA DE GRASA	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LUBRICANTE	OS-CG-02	10000 Hr	D	LABORATORIO	1	3	90.00 €	90.00 €
CAJA DE GRASA	INSPECCION DE LOS CASQUILLOS Y PISTA ASIENTO DE COJINETES.	OS-CG-03	30000 Hr	F	VISUAL, MICRÓMETRO DE EXTERIORES E INTERIORES, CALIBRADOR	2	2	120.00 €	120.00 €
INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE - AIRE	CONTROL DE VIBRACIONES Y TEMPERATURA DE MOTORES VENTILADOR	OS-IC-02	1000 Hr	B	VIBRÓMETRO, PIROMETRO.	1	1	30.00 €	30.00 €
ACOPLAMIENTO	INSPECCION DE LA ALINEACIÓN	OS-AC-01	10000 Hr	D	RELOJ COMPARADOR, EQUIPO DE ALINEAMIENTO LASER	2	3	180.00 €	180.00 €
ACOPLAMIENTO	INSPECCION DE LA FIJACION DEL ACOPLAMIENTO	OS-AC-02	10000 Hr	D	VISUAL	1	1	30.00 €	30.00 €

PORTAESCOBILLAS, ESCOBILLAS Y ANILLOS ROZANTES	VERIFICACIÓN DEL AREA DE CONMUTACION DE LOS ANILLOS ROZANTES	OS-PA-02	1000 Hr	B	VISUAL	1	1	30.00 €	30.00 €
PORTAESCOBILLAS, ESCOBILLAS Y ANILLOS ROZANTES	VERIFICACION DEL DESGASTE DE ESCOBILLAS	OS-PA-05	160 Hr	A	VISUAL	1	2	60.00 €	60.00 €
PORTAESCOBILLAS, ESCOBILLAS Y ANILLOS ROZANTES	CONTROL DE LOS RESORTES DE PRESION CONSTANTE	OS-PA-06	4000 Hr	C	VISUAL, DINAMOMETRO	1	3	90.00 €	90.00 €

RELACION DE GAMAS DE MANTENIMIENTO							
PERIODO (HORAS)	GAMA	OPERACIONES	COSTE M.O. OPERACIONES	COSTE REPUESTO OPERACIONES	COSTE M.O. GAMA	COSTE REPUESTO GAMA	COSTO TOTAL GAMA
160	A	OS-CG-01	60.00 €	0.00 €	120.00 €	0.00 €	120.00 €
		OS-PA-05	60.00 €	0.00 €			
1000	B	OS-IC-02	30.00 €	0.00 €	60.00 €	0.00 €	60.00 €
		OS-PA-02	30.00 €	0.00 €			
4000	C	OS-PA-06	90.00 €	0.00 €	90.00 €	0.00 €	90.00 €
10000	D	OS-ES-04	60.00 €	0.00 €	450.00 €	0.00 €	450.00 €
		OS-RO-02	30.00 €	0.00 €			
		OS-RO-04	60.00 €	0.00 €			
		OS-CG-02	90.00 €	0.00 €			
		OS-AC-01	180.00 €	0.00 €			
		OS-AC-02	30.00 €	0.00 €			
30000	F	OS-ES-02	1,080.00 €	0.00 €	1,920.00 €	0.00 €	1,920.00 €
		OS-RO-03	720.00 €	0.00 €			
		OS-CG-03	120.00 €	0.00 €			
50000	G	OS-RO-05	300.00 €	0.00 €	300.00 €	0.00 €	300.00 €

PLANIFICACION DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA FUNCIONAMIENTO ANUAL DE 8000 HR															
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
HORAS FUNC.	8,000	16,000	24,000	32,000	40,000	48,000	56,000	64,000	72,000	80,000	88,000	96,000	104,000	112,000	120,000
GAMAS	50A 8B 2C	50A 8B 2C D	50A 8B 2C D	50A 8B 2C D F	50A 8B 2C D	50A 8B 2C	50A 8B 2C D G	50A 8B 2C D F	50A 8B 2C D	50A 8B 2C D	50A 8B 2C	50A 8B 2C D F	50A 8B 2C D G	50A 8B 2C D	50A 8B 2C D F
C. M.O.	6,660	7,110	7,110	9,030	7,110	6,660	7,410	9,030	7,110	7,110	6,660	9,030	7,410	7,110	9,030
C. ANUAL	6,660	7,110	7,110	9,030	7,110	6,660	7,410	9,030	7,110	7,110	6,660	9,030	7,410	7,110	9,030
C. ACUMULADO	6,660	13,770	20,880	29,910	37,020	43,680	51,090	60,120	67,230	74,340	81,000	90,030	97,440	104,550	113,580